

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Ekologie a ochrana prostředí



Diplomová práce

Vliv zateplování obytných budov na koncentraci CO₂ v ovzduší bytů

The impact of building isolation on CO₂ concentration in flats

Eliška Čejková

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jan Hovorka, Ph.D.

Praha, květen 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, RNDr. Jana Hovorky, Ph.D., s použitím odborné literatury a jiných informačních zdrojů, které jsou v práci citovány a uvedeny v seznamu použité literatury. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejaté informace) budou řádně citovány. Rovněž prohlašuji, že předložená tištěná verze diplomové práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne:

.....

Eliška Čejková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce RNDr. Janu Hovorkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a pomoc při přípravě dat a podkladů pro tuto diplomovou práci, a také za užitečné rady při zpracování této diplomové práce. Práce by nevznikla také bez podpory společnosti ENERGOINVEST, a. s., která mi poskytla řadu technických dat a údajů týkajících se studované lokality. Dále bych ráda poděkovala Ing. Miloši Lainovi, Ph.D. z Ústavu techniky prostředí Fakulty strojní ČVUT v Praze, který mi poskytl možnost porovnat měřicí přístroje používané k měření dat k této diplomové práci se zkalibrovaným čidlem. Velký dík však patří všem respondentům z města Sezimovo Ústí, kteří mi umožnili měření ve svých bytech a poskytli potřebnou součinnost.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivem zateplování obytných budov na koncentraci CO_2 v ovzduší bytů a s ní spojenou intenzitu výměny vzduchu. Zateplování budov má bezesporu pozitivní vliv na energetickou náročnost budov, tedy na úsporu spotřebované tepelné energie, která přímo souvisí s emisemi CO_2 . Často má však pouhé zateplení bez celkového řešení vzduchotechniky negativní vliv na kvalitu vnitřního prostředí (ovzduší) bytů. Hlavní část práce uvádí měření parametrů kvality vnitřního ovzduší – teploty, relativní vlhkosti vzduchu, koncentrace CO_2 a intenzity větrání v zateplených, s plastovými okny, a nezateplených, s původními dřevěnými okny, vybraných bytových jednotkách. Cílem práce je rozdíly měřených parametrů mezi dvěma typy bytů kvantifikovat. Studovanou oblastí je sídlištní panelová zástavba ve městě Sezimovo Ústí. Měření probíhalo od října 2015 – března 2016 vždy po dobu 3 dnů ve vybraných 22 dvojicích bytů – s plastovými a dřevěnými okny, kde byla kontinuálně monitorována koncentrace CO_2 , teplota a relativní vlhkost. Měření probíhalo v ložnicích bytů během noci, protože jen tak se dalo zaručit stejné chování lidí během měření, což má zásadní vliv na sledované veličiny. Intenzita větrání byla pak vypočítána z poklesu CO_2 po odchodu lidí z ložnice po dobu 3 hodin jejich nepřítomnosti. Plastová okna mají statisticky významný vliv na kvalitu vnitřního ovzduší - na snížení intenzity větrání, vzrůst koncentrace CO_2 , teploty a relativní vlhkosti v bytě. V ložnicích s plastovými okny ve srovnání s ložnicemi s dřevěnými okny byla v noci průměrná koncentrace CO_2 v průměru o 91 % vyšší. Doporučená maximální hodnota koncentrace CO_2 1500 ppm byla překročena vždy u bytů s plastovými okny, u bytů s dřevěnými okny z 59 %, a koncentrace 3000 ppm nebyla v ložnicích s dřevěnými okny překročena vůbec, ale v ložnicích s plastovými okny u 59% sledovaných ložnic. Intenzita větrání se u bytů s plastovými okny pohybovala mezi $0,03 - 0,13 \text{ h}^{-1}$ a u bytů s dřevěnými okny mezi $0,21 - 0,50 \text{ h}^{-1}$. Průměrná relativní vlhkost se u bytů s plastovými okny pohybovala mezi 41,7 – 69,5 % a u bytů s dřevěnými okny mezi 29,8 – 56,1 %. Průměrná teplota se v ložnicích s plastovými okny pohybovala mezi $19,4 - 24,7 \text{ }^\circ\text{C}$ a u bytů s dřevěnými okny mezi $14,7 - 22,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Součástí práce je i dotazníkové šetření a případová studie vlivu režimu mikroventilace u plastových oken na koncentraci CO_2 a intenzitu větrání. Režim mikroventilace měl statisticky významný vliv na snížení koncentrace CO_2 v ložnicích a také na zvýšení intenzity výměny větrání.

Klíčová slova: CO_2 (oxid uhličitý), zateplování, intenzita výměny vzduchu, intenzita větrání, vnitřní prostředí, vnitřní ovzduší, kvalita vnitřního ovzduší, kvalita vnitřního prostředí, vnitřní podmínky, životní prostředí

ABSTRACT

This diploma work investigates the influence of thermal insulation at residential buildings on the concentration of CO₂ (carbon dioxide) in indoor environment. The studied area is a housing estate of panel buildings (flats) in Sezimovo Ústí city. The present work notices a positive impact of thermal insulation on energy demands of buildings and it is mainly saving consumed heat energy which is also connected with emission lowering of carbon dioxide emissions. The main problem which is solved in the work is that total insulation is usually done without any ventilation solution. It means that it has later a negative impact on indoor environment/air quality in flats. The main part of this work presents measurements of indoor air quality - CO₂ concentration, air change rate, temperature and relative humidity in an insulated (with plastic windows) and a non-insulated (with the original wooden windows) flats. The measurement lasted for three days in selected pairs of flats – with plastic and wooden windows. The measurement took place in bedrooms because the behaviour of residents of households was very similar during their sleep. The air change rate was then calculated from CO₂ concentration decay during period of 3 hours without residents. The main aim is to quantify these differences. The conclusion of this work is that plastic windows have a statistically significant effect on indoor air quality – lower air change rate, higher CO₂ concentration, higher temperature and relative humidity. The average CO₂ concentration was on average 91 % higher in flats with plastic windows than in flats with wooden windows. The recommended CO₂ concentration 1500 ppm was exceeded in all flats with plastic windows and in 59 % of flats with wooden windows. The concentration 3000 ppm was even exceeded in 9 % of flats with plastic windows. The air change rate ranges between 0,03 – 0,13 h⁻¹ in flats with plastic windows and between 0,21 – 0,50 h⁻¹ in flats with wooden windows. The average relative humidity was between 41,7 – 69,5 % in flats with plastic windows and between 29,8 – 56,1 % in flats with wooden windows. The average indoor temperature was between 19,4 – 24,7 °C in flats with plastic windows and between 14,7 – 22,3 °C in flats with wooden windows. This work also includes a survey on the quality of the indoor environment and case study about impact of microventilation on the CO₂ concentration and air change rate. The microventilation mode statistically significantly lowered CO₂ concentration in bedrooms and increased air change rate than in bedrooms with fully closed windows. The AER was on average 6x higher than with fully closed plastic windows.

Key words: CO₂ (carbon dioxide), building insulation, air change rate, intensity of ventilation, indoor environment, indoor air, indoor air quality, indoor environment quality, indoor conditions, environment

OBSAH

ABSTRAKT

ABSTRACT

1. ÚVOD	1
1.1 Klimatická změna a energetické úspory	1
1.2 Vliv zateplování budov na zdraví obyvatel	3
1.3 Studie zabývající se vlivem zateplování na kvalitu vnitřního ovzduší	4
1.4 Studie zabývající se intenzitou větrání v budovách	7
1.5 Jiná úskalí zateplování budov	8
1.6 Modelování kvality vnitřního ovzduší	10
1.7 Předpoklady a cíle diplomové práce	11
1.8 Základní pojmy	11
2. OXID UHLIČITÝ	12
2.1 Zdroje, šíření a reakce CO ₂	13
2.2 Oxid uhličitý ve vnitřním ovzduší	14
2.3 Vliv CO ₂ na zdraví	14
2.4 Oxid uhličitý ve venkovním ovzduší	18
3. KVALITA A POHODA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	19
3.1 Teplota	24
3.2 Vlhkost	26
3.3 Větrání a intenzita výměny vzduchu	28
3.4 Plísň	34
4. ZATEPLOVÁNÍ OBYTNÝCH BUDOV	35
5. LEGISLATIVA V OBLASTI OCHRANY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	38
6. METODIKA	42
6.1 Studovaná lokalita	42
6.2 Ověření správnosti a přesnosti měření přístrojů	43
6.3 Přístroje a metodika měření	47
6.3.1 Výběr vhodné metodiky	47
6.3.2 Popis metodiky	50
6.3.3 Měření intenzity větrání, koncentrace CO ₂ , relativní vlhkosti a teploty vzduchu	52
6.3.4 Popis studovaných bytů	56
6.3.5 Měření při režimu mikroventilace	60
6.4 Dotazníkové šetření	63
7. VÝSLEDKY	64

7.1 Intenzita výměny vzduchu a CO ₂	64
7.1.1 Statistické zpracování dat – koncentrace CO ₂ a intenzity větrání.....	74
7.2 Teplota a relativní vlhkost vzduchu.....	75
7.2.1 Statistické zpracování dat – teplota a relativní vlhkost vzduchu	78
7.3 Případová studie mikroventilace.....	79
7.3.1 Statistické zpracování – režim mikroventilace	83
7.4 Spotřeba energie	84
7.5 Dotazníkové šetření.....	85
8. DISKUZE	90
8.1 Intenzita výměny vzduchu a koncentrace CO ₂	91
8.2 Relativní vlhkost a teplota vzduchu	95
8.3 Režim mikroventilace u plastových oken.....	96
8.4 Úspora energie po zateplení pláště budovy.....	97
8.5 Další studie zabývající se měřením CO ₂ a intenzitou výměny vzduchu.....	97
9. ZÁVĚR	100
10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	103
10.1 Literatura.....	103
10.2 Internet.....	115
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	119
11. PŘÍLOHA	121
11.1 Příloha A	121
11.2 Příloha B	123
11.3 Příloha C	124
11.4 Příloha D	125
11.5 Příloha E	128
11.6 Příloha F.....	130
11.7 Příloha G	131
11.8 Příloha H.....	133
11.9 Příloha CH.....	134

1. ÚVOD

Při rekonstrukci objektu dochází zejména k zateplení obvodového pláště budovy a k výměně oken s malým součinitelem prostupu tepla, tedy za okna velmi těsná. Těmito opatřeními se sice sníží energetická náročnost budovy, ale rovněž se velmi sníží i provzdušňenost objektu a tím i výměna vzduchu v místnostech. Zateplením objektu se výrazně změní vnitřní mikroklima jeho jednotlivých místností zvýšením koncentrace oxidu uhličitého (CO_2). Lidé tráví více než 90% veškerého času uvnitř budov [44]. V zimních měsících je to dokonce ještě o něco více. V posledních letech byla vypracována řada studií s měřením kvality vzduchu ve školních i jiných (např. kancelářských) prostorech, kde je přípustná koncentrace 1500 ppm CO_2 stanovena např. vyhláškou č. 20/2012 Sb., o technických požadavcích na stavby. Za své vnitřní prostředí, v němž bydlíme a žijeme, je však zodpovědný každý sám. Tato diplomová práce se zabývá porovnáním kvality vnitřního prostředí obytných místností v zateplených a nezateplených objektech sídlištní panelové zástavby města Sezimovo Ústí. Ze základních parametrů vnitřního ovzduší měří teplotu, relativní vlhkost a koncentraci CO_2 . Z poklesu koncentrace CO_2 je pak také vypočítána intenzita výměny vzduchu.

Tato diplomová práce se snaží upozornit na to, že závažnost nedodržování kvality vnitřního ovzduší je celospolečenský problém s negativním dopadem na naše zdraví, a tedy i na celkovou kvalitu života. V budoucnu je nutné se především zamyslet nad určitým doporučením, či směrnicí Evropské unie (dále jen “EU”) týkající se kvality vnitřního ovzduší v obytných budovách. Tato směrnice by měla být použitelná pro většinu prostředí a samozřejmě by měla být implementována do národních legislativ. Problém zateplování stávajících obytných budov vidím především v tom, že se provádí bez řádného prozkoumání jeho dopadu na celkovou kvalitu vnitřního prostředí, který se začíná řešit až nyní, když vyvstávají určité problémy, jako je např. vznik plísní uvnitř budov. Dalším problémem je, že většina lidí nezná správné postupy při řízení kvality vnitřního ovzduší. Tato práce má mimo jiné navodit řadu otázek, které by měly pomoci zamyslet se nad tímto aktuálním problémem a najít účinné řešení pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší a zajistit tak zdravé prostředí pro celou společnost. Správné větrání je základ zdravého vnitřního prostředí!

1.1 Klimatická změna a energetické úspory

V posledních desetiletích se stále více mluví o klimatické změně, skleníkovém efektu, či tenčící se zásobě paliv. Omezení globálního oteplování se tak stalo světovou prioritou.

Mnohá literatura se zabývá tímto problémem (zejména v oblasti energií) a snaží se navrhnout řešení, jak omezit skleníkový efekt a minimalizovat klimatickou změnu s tímto jevem spojenou. Neustále zvyšující se koncentrace CO₂ v atmosféře představuje hned několik hrozeb pro zemské klima a ekosystémy, např. globální oteplování, vzestup hladiny moří či acidifikaci oceánů [28]. V důsledku toho je pro obytné budovy navrhováno a požadováno snížení jejich energetické náročnosti a tím i následné snížení produkce skleníkových plynů a uhlíkové stopy, tedy především produkce emisí oxidu uhličitého. K tomu má dopomoci výstavba nízkoenergetických domů a také renovace stávajících budov tak, aby byly energeticky co nejefektivnější [27, 70, 73, 87, 115, 134, 138]. Jedná se o důležitou strategii, která má alespoň částečně omezit globální klimatické změny a pomoci nám se vypořádat s nedostatkem energetických surovin, se kterým se mnohé části světa už nyní potýkají, a v budoucnu bude znamenat zhoršující se problém, který bude nutné řešit [73, 115, 138]. Důvodem k větší spotřebě energie v budovách je zejména růst populace, zvyšující se nároky na služby a pohodlí v budovách a také stále zvyšující se čas strávený v budovách. Odhaduje se, že tento trend bude v budoucnu pokračovat [100]. Lidé tráví v budovách 80 – 90 % svého času, tedy 19 – 20 hodin denně [20, 28, 70, 91, 101, 103], a z toho až 65 % ve svých vlastních domovech [28, 70, 101]. Školáci pak tráví až 8 hodin denně ve školním zařízení [126] a ve třídě stráví až 12% svého času [51]. Další skupinou lidí, která tráví převážnou část svého života uvnitř budov jsou staří lidé, kteří tráví doma až 87 % svého času a z toho až 57 % v ložnici a 30 % v obývacím pokoji [20]. Mezinárodní energetická agentura (International Energy Agency) udává, že spotřeba energie stále vzrůstá, mezi roky 1984 – 2004 ročně asi o 2 %, tedy celkově spotřeba energie vzrostla o 49 % a produkce emisí CO₂ v tomto období stoupla o 43 %. Produkce CO₂ ročně tedy vzrůstala o zhruba 1,8 % [100]. Do roku 2030 se předpokládá růst spotřeby energie o 1,5 % ročně [100]. Nejvíce energie spotřebované v budovách, až 50 % [100, 114] je spojeno právě s provozem vytápění, klimatizace a s větráním, další významnou položkou je osvětlení, které činí 15 % celkové spotřeby energie v budovách [100]. Udává se, že celková konečná spotřeba energie spojená s provozem budov (rezidenčních i komerčních) má na svědomí celkově 20 – 40 % všech skleníkových plynů v rozvinutých zemích [100, 104, 127]. Provoz budov zapříčiňuje 36 % celkových emisí CO₂ v EU a budovy v EU spotřebují 40% celkově vyprodukované energie [104, 114, 127, int 6]. Například v roce 2004 tvořila spotřeba energie v budovách v rámci EU 37% celkové spotřeby energie, což je více než průmysl (28 %) a doprava (32 %). V USA tvořila spotřeba energie v budovách 40% [86, 87, 88, 99] a na celosvětové úrovni 24 % [99]. Zlepšením energetické náročnosti budov by se mohlo ušetřit celkem okolo 5 % emisí CO₂ a snížit energetickou spotřebu budov o 5 – 6 % v rámci EU [99]. Podle studie Ng et al. může zateplení budovy

ušetřit spotřebu energie v budově o 5 – 12 % [87]. Více než 35 % budov v EU je starší padesáti let a zejména starší budovy jsou energeticky nevyvážené a nejméně efektivní [99]. Je nutné si uvědomit, že 24% globálních surovin jde právě do budov a 80 % světově vyráběné energie pochází právě z fosilních paliv a výroba energie je zodpovědná za vznik dvou třetin světových emisí skleníkových plynů [87]. Na aktuální situaci reaguje také Evropská unie vydáním několika nařízení, která nařizují, že nově postavené budovy by měly mít minimální energetické požadavky a to platí i pro stávající budovy, které by měly projít renovací, zajišťující snížení jejich energetické náročnosti. Od roku 2020 by všechny nově postavené budovy měly být tzv. nulové domy, tedy domy s téměř nulovou spotřebou energie [33, 34]. V posledních letech se stále více staví nízkoenergetické či pasivní domy.

1.2 Vliv zateplování budov na zdraví obyvatel

Již dlouhou dobu jsou některé sociální a zdravotní problémy spojovány právě se špatnou kvalitou vnitřního prostředí. Světová zdravotnická organizace (dále jen “WHO”) uvádí, že expozice znečišťujícími látkami (dále jen “ZL”) se objevuje převážně ve vnitřním prostředí, avšak na rozdíl od venkovního prostředí neexistují pro vnitřní prostředí právně závazné limity [int 30]. WHO také uvádí, že jedinci, kteří jsou vystaveni ZL ve vnitřním ovzduší jsou více zdravotně zranitelní, než kdyby byli vystaveni ZL ve vnějším prostředí, co se dlouhodobého hlediska týká [139]. WHO proto vydala soupis doporučených akceptovatelných vnitřních koncentrací některých látek, např. benzenu, oxidu uhelnatého, formaldehydu, oxidu dusičnatého, radonu atd., avšak oxid uhličitý mezi nimi zatím není uveden [int 30]. Detailnější soupis koncentrací škodlivin vydala také Spolková agentura pro životní prostředí (dále jen “UBA”). Jedná se o látky, které při dlouhodobé expozici mohou způsobit nepříznivý vliv na zdraví. UBA uvádí prahové hodnoty, které pokud jsou dosaženy nebo překročeny, vyžadují okamžité jednání kvůli potenciálnímu nebezpečí pro zdraví [int 7]. Studie provedené Agenturou pro ochranu životního prostředí (dále jen “EPA”) tvrdí, že znečištění vnitřního ovzduší je mezi pěti nejvýznamnějšími faktory životního prostředí ohrožující lidské zdraví. V roce 2009 WHO vydala report, ve kterém uvádí, že znečištění vnitřního ovzduší je zodpovědné za 2,7 % globálních nemocí [140]. Dále EPA uvádí, že většina obyvatel budov si neuvědomuje a nevnímá toho, že znečištění vnitřního prostředí může významně ovlivnit jejich zdraví, spolu s vlivem venkovního znečištění [128]. Podle McGilla et al. by se měla kvalita vnitřního prostředí, zejména v moderních budovách, řádně prozkoumat a této problematice by se mělo v budoucnu věnovat více pozornosti, protože momentálně chybí dostatečné informace a výzkum v této oblasti [75]. Podle těchto autorů

dochází k utěšňování obálek budov a redukcí intenzity větrání používáním nových materiálů a technologií bez známých důsledků a spolehnout se na to, že poskytnou dostatečnou ventilaci a nesníží prokazatelně kvalitu vnitřního ovzduší. Snížená ventilace tedy podle mnohých studií provedených v Evropě vede ke zvýšení znečištění ve vnitřním prostředí a špatné kvalitě vnitřního prostředí [32, 50, 81, 103, 112, 125]. V takovém prostředí mohou lidé trpět různými zdravotními potížemi a to se týká velmi často právě dětí [11, 27, 70, 115, 138]. Pro kvalitu vnitřního ovzduší jsou také důležité venkovní zdroje ZL, na což poukazuje hned několik studií [20, 78] a je známo, že venkovní ovzduší, zejména v městské zástavbě s hustou dopravou, či průmyslem, ovlivňuje silně i vnitřní ovzduší [68, 74]. Podle Jelínka můžeme správným větráním zajistit relativní vlhkost vzduchu v požadovaných mezích, zajistit hygienicky nezbytné množství čerstvého vzduchu a udržet koncentraci ZL v požadovaných mezích [int 10].

1.3 Studie zabývající se vlivem zateplování na kvalitu vnitřního ovzduší

V současné době se stále více řeší, jak snížit energetickou náročnost budov a zefektivnit využívání energie v budovách. Největší ztrátu energie tvoří netěsnosti budovy [88]. Postupné snižování energetických nároků budov a utěšňování začalo již v 70. letech minulého století [96]. Emmerich et al. dle svých studií zkoumající těsnost pláště budov došli k závěru, že komerční budovy jsou často méně těsné, než se předpokládá a že zvýšením těsnosti obálky budovy se může ušetřit 9 – 36 % energie [39, 40]. Jedním z možných řešení je tak zvýšení těsnosti obálky budov, nejčastěji se jedná o izolaci stěn budovy a střechy, výměnu oken, zasklívání lodžií, či změnu ve vytápění [30, 87, 88, int 29]. To může pomoci uživatelům budov nejen snížit náklady na energii, ale také v mnoha případech snížit riziko vzniku nemocí z prochladnutí a omezit stres vznikající v důsledku neustálého přemýšlení nad tím, jak udržet ve svém domě patřičnou tepelnou pohodu a zároveň nenavyšovat účty za energii [73]. Žití v chladném a vlhkém prostředí není určitě zdraví prospěšné a může mít řadu negativních zdravotních dopadů [73]. Maidment et al. provedli Meta analýzu 36ti studií, které se zabývaly vlivem energeticky úsporných opatření budov na zdraví a pohodu lidí, a dospěli k názoru, že energetická opatření mají malý, ale prokazatelně pozitivní vliv na zdraví [73]. Stejný názor na věc má také Jacobs et al., kteří zkoumali zdraví a pohodu u lidí, kteří se přestěhovali ze starých, často zchátralých, budov do nových tzv. zelených budov. Lidé hodnotili tuto změnu subjektivně a uváděli pozitivní vliv na jejich pohodu a zdraví např. snížení výskytu onemocnění angínou, ústup bolesti hlavy či únavy [58]. Avšak jak uvádí Derbez et al., tak kvalita vnitřního prostředí ve vysoce energeticky úsporných budovách je stále nedostatečně

prozkoumaným tématem [30]. Jiné studie však došly zase k názorům, že tato zateplovací opatření mají spíše negativní vliv na lidské zdraví a pohodu, a to především, co se zhoršení kvality vnitřního ovzduší týká [27, 70, 115, 138]. Energetická opatření jdou většinou ruku v ruce se snížením přirozené infiltrace budov skrze zvýšení těsnosti, a tím pádem tak dochází k nedostatečnému zásobování vnitřních prostor čerstvým vzduchem [80]. Špatná kvalita vnitřního ovzduší je často spojována se vznikem nebo zhoršením dýchacích problémů jako je např. astma či chronická obstrukční plicní nemoc, proto je kvalita vnitřního ovzduší (indoor air quality, dále jen “IAQ”) velmi důležitá pro zdraví veřejnosti [138]. Již mnoho studií se zabývalo vlivem kvality vnitřního prostředí na zdraví v energeticky efektivních budovách. Sharpe et al. ve své studii tvrdí, že lidé žijící v budovách po energetické renovaci trpí častěji astmatem či jinými dýchacími problémy [115]. Důvodem je podle nich omezená ventilace budovy, díky níž se často tvoří vhodné podmínky pro růst plísní (zejména kvůli zvýšené vlhkosti) a hrozí tak riziko alergických onemocnění a astmatu, které plísně mohou vyvolat (např. *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* či *Cladosporium*). Sharpe tak poukazuje na nutnost zamyslet se nad vlivem zateplování na zvýšení vlhkosti a s tím spojený výskyt plísní uvnitř budov. Kvalitou vnitřního ovzduší a jejím vlivem na zdraví školáků se zabývali Turunen et al., kteří jako nejčastější symptomy špatné IAQ uvádějí bolest hlavy, točení hlavy, únavu a potíže se soustředěním [126]. Také studie od autorů Clements – Croome et al. došla k názoru, že špatná IAQ negativně ovlivňuje zdraví a pohodu studentů a učitelů a dobrá IAQ je nezbytná pro soustředění během výuky [26]. Ke stejným závěrům došli též Turanjanin et al. [125]. Nejčastějším druhem expozice CO₂ je inhalační expozice a ta je spojená s následnými respiračními onemocněními. I další studie potvrzují nedostatečnou ventilaci a vyšší koncentrace CO₂ v budovách po zateplení (více než 1000 ppm), např. Prill et al. [106] a You et al. [144]. Santamouris et al. ve své studii ve školách zjistili, že 52 % škol mělo průměrnou koncentraci CO₂ vyšší než je doporučený limit 1000 ppm [112]. Mendell et al. ve své studii potvrdili vliv dostatečné ventilace na absenci nemocí a zdravotních potíží, které jsou s nedostatečnou ventilací budov často spojovány [76]. Modelové studie ukazují, že je možné docílit jak zlepšení energetické účinnosti budov, tak zachovat dobrou kvalitu vnitřního prostředí s dostatečnou ventilací budovy [138]. V praxi je tomu často jinak a existují jen limitující data, která prokazují, že dostatečná IAQ se u budov s nulovou energetickou náročností či u budov po hluboké energetické rekonstrukci nedodrжуje.

Přívod potřebného množství čerstvého vzduchu, tedy větrání místnosti, se hodnotí intenzitou větrání neboli ventilační rychlostí. Tento parametr uvádí, kolikrát za hodinu se celkový objem vzduchu v místnosti vymění za vzduch venkovní. Evropský standard má

hodnotu $0,5 \text{ h}^{-1}$ [115]. Studie porovnávající budovy s různým stupněm zateplení uvádí, že technické specifikace ventilační rychlosti u energeticky účinných budov jsou uváděny v hodnotách $0,2 - 0,35 \text{ h}^{-1}$, což je naprosto v rozporu s normou, která uvádí, že minimální ventilační rychlost by měla být $0,5 \text{ h}^{-1}$ [138]. Tedy už při projektování se více řeší úspora energie, než samotná kvalita vnitřního prostředí. Langer a Bekö ve své studii v Oslu zjistili, že budovy postavené zejména po roce 2000 mají nižší intenzitu větrání, než budovy postavené o deset let dříve, což podle nich naznačuje, že současné konstrukce budov nesplňují požadavky směrnic a doporučení [66]. Naopak některé studie tvrdí, že lze zvýšit jak energetickou účinnost budovy, tak zachovat nebo zlepšit IAQ. Jednou z možností je např. využití mechanické ventilace s rekuperací tepla, ventilace podle potřeby (demand controlled ventilation, dále jen „DCV“) či hybridní ventilace [103]. Adam et al. pomocí modelování zjistili, že mechanickou ventilací s rekuperací tepla lze docílit až 20 % úspory energie a zároveň omezit koncentrace ZL ve vnitřním ovzduší [1]. Také Persily et al. [104] a Derbez et al. [30] ve své studii zjistili, že mechanická ventilace s rekuperací tepla prokazatelně zvýší intenzitu větrání a zajistí menší koncentrace ZL ve vnitřním ovzduší. Pomocí modelu CONTAM Persily et al. zjistili, že využitím větrání dle obsazenosti bytu (DCV) lze docílit 10 – 80% energetické úspory bez nutného zhoršení IAQ [104]. K podobným výsledkům došla i studie Carpentera et al., kteří tvrdí, že ventilace dle potřeby může ušetřit 20 – 30 % energie a zredukovat koncentraci CO_2 a formaldehydu až o 50 – 100 % [25]. Stejně výsledky udávají i Šrjanc a Šubic a to, že úspora energie při využívání DCV může být 10 - 50 % a že s využitím kontroly, která konstantě monitoruje koncentraci CO_2 a dle toho upravuje proudění vzduchu, se může požadované IAQ dosáhnout až po 80% doby [87]. Také Emmerich a Crum tvrdí, že využitím hybridní ventilace se ušetří energie a zároveň dosáhne akceptovatelné IAQ a pohody vnitřního prostředí [38]. Du et al. zjistili silnou závislost mezi typem ventilace, IAQ a spotřebou energie, když zkoumali různé způsoby větrání – kontinuální ventilaci, ventilaci jen během obsazené místnosti a ventilaci založenou na měnící se obsazenosti místnosti. Ventilaci založenou na měnící se obsazenosti místnosti se ušetří až 50 % energie oproti kontinuální ventilaci a 30 % oproti ventilaci jen během obsazené místnosti [35]. Několik studií navrhuje, aby koncentrace oxidu uhličitého byla parametrem pro určení stupně obsazenosti místnosti a následné nastavení intenzity větrání [1, 8, 11, 30, 72, 96]. Většina budov nemá v dnešní době vyhovující ventilaci – buď je výměna vzduchu příliš vysoká a v jejím důsledku vznikají energetické ztráty, či je naopak příliš nízká a v důsledku toho dochází ke špatné IAQ. Podle mnoha studií je nejlepším řešením ventilace založená na aktuální obsazenosti místnosti [87]. Takový typ ventilace je citlivý, reaguje pružně a rychle na změny vnitřního prostředí a může ušetřit nemalé provozní náklady [87]. Když je vytápění, ventilace a klimatizace budovy

optimálně nastavena dle úrovně vnitřního znečištění CO₂, teploty, tlaku apod., může se ušetřit podstatná část nákladů [10]. Optimalizace ventilační strategie pomáhá udržet jak vnitřní pohodlí a podmínky, tak snížit celkové náklady spojené s provozem takového systému [6].

1.4 Studie zabývající se intenzitou větrání v budovách

V minulosti proběhly studie, které porovnávaly IAQ v budovách před a po úpravě jejich energetické náročnosti, nebo porovnávaly IAQ mezi budovami v jedné lokalitě, přičemž některé byly po rekonstrukci či nově postavené a jiné původní bez provedené tepelné izolační rekonstrukce. Jindy byly zase porovnány domy po různém typu rekonstrukce – kdy některé byly více utěsněny a jiné méně. Jacobs et al. porovnávali kvalitu vnitřního prostředí v jedné nové a energeticky účinné budově se stávající původní zástavbou v Chicagu. Autoři došli k závěru, že koncentrace CO₂ byla vyšší v energeticky účinnějších budovách [58]. K podobným závěrům, avšak statisticky neprůkazným, došli také Colton et al., kteří měřili koncentraci CO₂ a intenzitu větrání v tzv. zelených budovách, které jsou vysoce energeticky úsporné a v původních starých budovách [27]. Nabinger a Persily zkoumali vliv zateplení mobilních domů v USA na intenzitu větrání a z jejich studie vyplývá, že zateplení má vliv na ventilační rychlost a ta se po energeticky úsporných opatřeních snížila o 20 % [80]. Langer a Bekö studovali teplotu, relativní vlhkost a ventilační rychlost ve švédských rodinných domech a bytech a zjistili, že 80 % všech domácností (74 % bytů a 85 % domů) nesplňuje doporučenou ve Švédsku doporučenou ventilační rychlost 0,5 h⁻¹ [66]. K podobným výsledkům dospěli také Bornehag et al., z jejich studie plyne, že okolo 80 % rodinných domů a 60 % vícegeneračních domů nesplnilo minimální požadovanou ventilační rychlost 0,5 h⁻¹. Průměrná ventilační rychlost v rodinných domech byla 0,36 h⁻¹ a ve vícegeneračních domech 0,48 h⁻¹ [18]. Stejně výsledky má i studie provedená Stymne et al. [120], a k trochu vyšší intenzitě větrání došli Emenius et al. [37], Øie et al. [96]. Stejně výsledky, co se týče rodinných domů, uvádí ve své studii i Bekö et al. [12]. Andersen et al. naměřili ve 177 rodinných domech v Dánsku průměrnou intenzitu větrání 0,34 h⁻¹ [4] a Bekö et al. naměřili průměrnou ventilační rychlost 0,46 h⁻¹ v jiné dánské studii, která proběhla v 500 bytech [11]. Murray a Burnmaster naměřili medián ventilační rychlosti 0,51 h⁻¹ ve 1844 bytech ve 4 klimatických podmínkách kontinentální USA během všech ročních období [79]. Aubin et al. zjistili, že 85% obydlí studovaných v Quebecu v Kanadě nedosahuje ventilační rychlosti ani 0,3 h⁻¹ v zimě a na podzim [7]. Stejně výsledky potvrzuje i Gilbert et al. v jiné studii z Quebecu a to, že v zimě 80 % domácností mělo průměrnou ventilační rychlost okolo 0,2 h⁻¹ [47]. Podle Nabingera et al. záleží na venkovním počasí, chování a zvycích uživatelů, jak moc

bude infiltrace po zateplení ovlivněna. Podle jejich výzkumů však dojde v průměru ke snížení infiltrace po zateplení o 20 – 30 %, ale také ke snížení spotřeby energie na chlazení a vytápění o 10 % [80]. Tyto a desítky dalších studií ukazují, jak moc je kvalita vnitřního prostředí důležitá a jak často dochází k nedostatečné ventilaci budov. Ventilační rychlost má podle Lngera a Beka také vliv např. na vnitřní koncentraci NO₂, formaldehydu a VOC. Pokud je ventilační rychlost v domácnosti vyšší, tak může formaldehyd vznikající uvnitř místnosti (např. z nábytku) a VOC rychleji proudit infiltrací ven, naopak NO₂ vznikající především ve venkovním ovzduší z dopravy se může lépe dostat dovnitř budovy, stejné statisticky prokazatelné výsledky s NO₂ a formaldehydem uvádí i jiné studie z Kanady [47, 48]. Gallelo et al. ve své studii také dospěli k závěru, že intenzita větrání má znatelný vliv na koncentraci VOC ve vnitřním ovzduší [46], Ng et al. ve své studii tvrdí, že zvýšení těsnosti budov má negativní vliv na koncentraci formaldehydu a oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí, ale pozitivní vliv na snížení koncentrace troposférického ozonu, který vzniká hlavně ve venkovním ovzduší [87]. Zatímco ZL vznikající ve vnitřním prostředí budou mít díky vyšší intenzitě větrání nižší vnitřní koncentrace, tak ZL vznikající ve venkovním ovzduší a vstupující do vnitřního ovzduší, budou mít vyšší koncentrace, než při nižší intenzitě větrání. Intenzita větrání tedy významně ovlivňuje IAQ a zcela jistě by její role neměla být podceňována [66, 67]. Bernier a Hallé ve své kanadské studii v několika klimatických oblastech zkoumali vliv typu oken na infiltraci a následné energetické ztráty a došli k závěru, že energetické ztráty způsobené infiltrací jsou menší než ty způsobené nedostatečným slunečním zářením [15].

1.5 Jiná úskalí zateplování budov

Často je špatná IAQ způsobena nedostatkem vědomostí lidí o nových technologiích, jak uvádí Walker et al.. Vzdělávání lidí ve zrenovovaných budovách je silně podhodnocené a doporučuje tedy, aby obyvatelům domů po renovaci bylo poskytnuto poučení o tom, jak správně zacházet s nainstalovaným vybavením tak, aby dosáhli kvalitního a zároveň zdravého vnitřního ovzduší [134]. Leech et al. ve své práci poukazují na to, že v domech s mechanickou ventilací (systémy využívající ventilátorů zajišťující proudění vzduchu v budově) neví celých 10 % lidí, že vůbec mechanickou ventilaci mají a jen 78% těch, kteří o ní vědí, jí rozumí a umí jí také používat [70]. Když byla zkoumána jiná skupina lidí, tak pouze 73 % těch, kteří mechanickou ventilaci měli, jí umělo také využívat a rozumělo jí [70]. Podle Derbeye et al. mnoho lidí vlastníci mechanickou ventilaci neví, jak ji správně nastavit a využívat, či ji vůbec nerozumí a místo automatického nastavení radši využívají manuální

nastavení [30]. Walker et al. [134] a Derbez et al. [30] upozorňují ve svých studiích na to, že při zavádění nových technologií je důležité změnit staré zažité zvyky uživatelů, a naučit uživatele správně technologii využívat, jen tak můžou docílit správných vnitřních podmínek a zdravého prostředí. Mnoho studií se zabývalo chováním lidí v obytných budovách s využíváním klimatizace, kontroly teploty, režimu větrání či úpravy pronikajícího slunečního záření [43, 64]. Schweiker a Shukuya ve své studii přišli na to, že používání klimatizace záleží na tom, z jaké země člověk pochází, zkušenostech z dětství a postoji ke klimatizaci [117]. Soebarto et al. ve své práci zase poukazují na fakt, že uživatelé domácností využívají klimatizace s ohledem na úsporu financí, tedy pokud to alespoň trochu jde, tak radši udržují tepelnou pohodu skrze otevřená okna, než skrze klimatizaci, tu zapínají až v případě horka [119]. Peeters et al. zjistili, že obyvatelé domácností v Belgii často nevědí, jak ovládat termostatické ventily a pak dochází k přetápění domácností [89, 97]. Ke stejným závěrům došli Xu et al. ve své studii v Číně, kde lidé také nerozuměli dobře ovládání termostatických ventilů [141]. Podle Frontczaka et al. záleží to, jak lidé kontrolují vnitřní prostředí, na hloubce jejich znalostí, které jsou klíčové pro rozvoj systémů, které poskytují pohodu svým uživatelům [43]. Podle Frontczaka et al. mělo 70 % dotazovaných alespoň trochu starost o to, jak jejich chování ovlivňuje využívání energie a kvalitu vnitřního prostředí [43]. Podle Zapery lidem na jejich vnitřním prostředí záleží, protože 40 % z nich by častěji větralo, pokud by věděli, že je to dobré pro zdraví a pohodu jejich rodiny a více než 30 % dotazovaných by v zimě větralo častěji, kdyby věděli, že se ve vnitřním ovzduší nacházejí nebezpečné látky a zlepši si tak větráním kvalitu vnitřního prostředí [146]. Broer navrhnul lampu, která podle úrovně teploty, vlhkosti, světla, zvuku a koncentrace CO₂ měnila svoji barvu. Tuto lampu umístil na 9 dní do jedné rodiny a nápad se mu osvědčil a obyvatelé domácnosti v ní našli zalíbení [17]. Vhodným nástrojem, jak upozornit obyvatele na špatné vnitřní prostředí, např. příliš vysokou koncentraci CO₂, by byl vizualizovaný systém, který by na zhoršenou kvalitu upozornil zvukovým či světelným signálem a uživatel by tak mohl na takovou situaci zareagovat otevřením okna či by došlo k automatickému zapnutí ventilačního systému, např. při koncentraci CO₂ nad 1000 či 1500 ppm [43, 125]. Se zajímavým systémem pro kontrolu kvality vnitřního ovzduší přišli Jaffari a Matthews, kteří navrhli tzv. umělou květinu, která by při vysokých koncentracích oxidu uhličitého vadla a naopak při nízkých koncentracích rostla vzpřímeně, a tak upozornila obyvatele na vysoké koncentrace CO₂ [59]. Již však existují mechanické ventilační systémy s čidly, která umí dát signál k optimalizaci vnitřních podmínek a nastavit tak vhodnou teplotu či dostatečné odvětrávání místnosti. Zatím neexistuje žádný zákon či vyhláška, která by nakazovala zavést do budov po tepelně izolační rekonstrukci mechanický ventilační systém ke stávajícímu přirozenému větrání [104]. Vyšší

koncentrace CO₂ je nejčastěji udávaným ukazatelem nedostatečné intenzity větrání a špatné IAQ [125]. Monitorování koncentrace CO₂ může tedy fungovat jako indikátor špatné ventilace a kontrolovat tak optimální ventilaci místnosti.

Co se týká zateplování budov, je nutné uvědomit si, že materiál na zateplení znamená další spotřebu energie a vznik emisí při těžbě potřebných surovin, jeho výrobě, transport, konstrukci, provozu a následné likvidaci po jeho dosloužení [107, 113]. Při využívání zateplovacích materiálů je nutno uvažovat nad LCA (life – cycle assessment, nebo – li životním cyklem výrobku, dále jen „LCA“). Keoleian et al. [63] a Blengini et al. [16] tvrdí, že snížení energetických nároků budovy sebou nese vzrůst spotřeby energie na výrobu potřebného zateplovacího materiálu. Proto by při volbě zateplovacího materiálu mělo záležet na tom, jak je materiál energeticky náročný, co se jeho výroby týká a kolik emisí CO₂ vznikne během jeho LCA. Bribián et al. zkoumali LCA několika zateplovacích materiálů a potenciál jak zlepšit jejich výrobu tak, aby byla přijatelnější pro životní prostředí [22], podobnou studii provedli i Keoleian et al., kteří zkoumali různé materiály a technické postupy a srovnávali jejich LCA pomocí spotřebované energie a vyprodukovaných skleníkových plynů, také Tettey et al. ve své práci zkoumali kolik energie ušetří jaký typ izolačního materiálu [124].

1.6 Modelování kvality vnitřního ovzduší

V budoucnu je nutné zaměřit pozornost také na možnost modelování kvality vnitřního prostředí (ovzduší) spojenou se snížením intenzity větrání v důsledku energetických opatření. Ng et al. ve své studii zkoumají modelování IAQ pomocí programu CONTAM a energetickou spotřebu budov pomocí program EnergyPlus - Airflow Network [87]. Další modelovací programy jsou např. TRNSYS, IDE - ICE [88]. Skrze různé modelovací programy je možno namodelovat např. koncentrace CO₂ během roku, vliv změny v těsnosti obálky budovy na IAQ, či spotřebu energie při vyšší a nižší intenzitě větrání apod.. Také se dají namodelovat závislosti mezi IAQ, ventilací a energetickou spotřebou [87]. Modelování může být v budoucnu jednou z možností, díky které by nedocházelo k “trade – off” (rozporu) mezi úsporou energie a IAQ [87]. V poslední době se pracuje na vývoji takových modelovacích programů, které by uměly zhodnotit dynamickou interakci mezi infiltrací, prouděním vzduchu, celkovou charakteristikou budovy, včetně stupně její těsnosti, počasím a systémem topení, chlazení a větrání [86, 88]. Mnoho modelovacích programů podceňuje nebo neumí dobře modelovat přirozenou infiltraci v závislosti na počasí, ventilačním systému a těsnosti budovy a bez toho pak nelze dobře namodelovat ani energetické ztráty/úsporu a kvalitu vnitřního prostředí. Také platí, že ne každý model je použitelný na všechny typy budov [86,

88]. Především počasí a celková průvzdušnost (těsnost) obálky budovy ovlivňují infiltraci nejvíce a infiltrace naopak významně ovlivňuje energetickou spotřebu budovy. Valná většina modelů však využívá algoritmů, které počítají s konstantní infiltrací bez vlivu počasí, pak může být takto vypočtená infiltrace 2 – 6x menší než ta spočítaná programem, který bere v úvahu variabilitu počasí a její vliv na infiltraci budovy [86]. V budoucnu by se mělo zpracovat více studií, které by experimentálně zkoumaly souvislost mezi infiltrací a těsností budovy na opravdových budovách, tak aby se mohly výsledky zapracovat do modelovacích programů [88].

1.7 Předpoklady a cíle diplomové práce

- **1. Předpoklad:** Předpokládáme, že koncentrace CO_2 budou vyšší v bytech s plastovými okny.
- **Cíl 1:** Kvantifikovat rozdíl mezi koncentrací CO_2 v bytech s plastovými a dřevěnými okny.
- **2. Předpoklad:** Předpokládáme, že intenzita výměny vzduchu bude nižší v bytech s plastovými okny.
- **Cíl 2:** Kvantifikovat rozdíl mezi intenzitou výměny vzduchu v bytech s plastovými a dřevěnými okny.
- **3. Předpoklad:** Předpokládáme, že teplota a relativní vlhkost vzduchu budou vyšší v bytech s plastovými okny.
- **Cíl 3:** Kvantifikovat rozdíl mezi teplotou a relativní vlhkostí vzduchu v bytech s plastovými a dřevěnými okny.
- **4. Předpoklad:** Předpokládáme, že režim tzv. mikroventilace u plastových oken bude mít vliv na snížení koncentrace CO_2 a zvýšení intenzity výměny vzduchu.
- **Cíl 4:** Kvantifikovat rozdíl mezi koncentrací CO_2 a intenzitou výměny vzduchu v ložnici s uzavřenými okny a v ložnici s okny v režimu mikroventilace.

1.8 Základní pojmy

Níže jsou uvedeny některé základní pojmy, které budou dále v této práci zmiňovány. Jedná se o obecné pojmy používané v ochraně ovzduší.

- **Znečišťující látka** – jakákoliv látka vnesená do některé ze složek životního prostředí nebo v něm druhotně vznikající, která může mít přímý, anebo po fyzikální či chemické přeměně resp. spolupůsobení s jinou látkou, nepřímý, škodlivý vliv na životní prostředí, život a zdraví lidí a zvířat, klimatický systém Země anebo na hmotný majetek [int 22]
- **Úroveň znečištění ovzduší** – hmotnostní koncentrace znečišťujících látek v ovzduší nebo jejich depozice z ovzduší na jednotku plochy zemského povrchu za jednotku času [int 22]
- **Posuzování kvality ovzduší** – měření, výpočet, předpověď nebo odborný odhad úrovně znečištění ovzduší prováděné schválenou metodou [int 25]
- **Kvalita vnitřního prostředí** – je definována fyzikálními, chemickými a biologickými složkami např. vlhkostí, teplotou, či odérovou složkou atd., jako indikátor se nejčastěji využívá měření koncentrace oxidu uhličitého [109]
- **Pohoda prostředí** – zabývá se pocitem lidí a vnímáním jejich okolního prostředí, snaží se zjistit, kdy se člověk jak po stránce fyzické, tak fyziologické, cítí pohodlně a může se soustředit na svojí činnost bez toho, aniž by byl rušen naměřenými podněty [116].
- **Vnitřní ovzduší** – ovzduší uvnitř budov
- **Kvalita vnitřního ovzduší** – je definováno fyzikálními, chemickými a biologickými složkami a pro indikaci se nejčastěji využívá měření koncentrace oxidu uhličitého [109]
- **Venkovní ovzduší** – ovzduší mimo budovy
- **Intenzita výměny vzduchu** – je hodnocena parametrem ventilační rychlosti, který udává, kolikrát za hodinu se celkový objem vzduchu v místnosti vymění za vzduch venkovní [111]

2. OXID UHLIČITÝ

Oxid uhličitý neboli také kysličník uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který je běžnou součástí zemské atmosféry a jeho koncentrace v ovzduší se pohybuje okolo 0,035 – 0,04% tedy 350 - 400 ppm [3, 6, 54, 125]. Koncentrace CO₂ v ovzduší závisí na místních podmínkách, např. na výšce nad zemským povrchem, relativní vlhkosti vzduchu či znečištění automobilovou dopravou a průmyslem atd. V důsledku průmyslových antropogenních emisí však průměrná koncentrace CO₂ ve vzduchu stále vzrůstá, každý rok

zhruba o 2 ppm [28]. Množství oxidu uhličitého v atmosféře se za uplynulých 150 let zvýšilo přibližně o 110 ppm (z 280 na 390 ppm). Výrazný nárůst množství CO₂ v atmosféře v uplynulých 150ti letech byl způsoben především spalováním fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn) a rozvojem živočišné výroby (rostoucí množství hospodářských zvířat) [int 21].

2.1 Zdroje, šíření a reakce CO₂

Oxid uhličitý vzniká reakcí uhlíku a kyslíku - hlavně při spalovacích procesech či jako produkt dýchání živých organismů. Oxid uhličitý vzniká buď přirozenými procesy v přírodě jako tzv. přirozený CO₂, či v důsledku lidské činnosti jako tzv. antropogenní CO₂ [19].

Antropogenní CO₂ vzniká především během spalování fosilních i organických paliv. Spalování paliv je děj, při kterém se slučují prvky obsažené v palivu s kyslíkem obsaženým ve vzduchu [19]. Uhlík obsažený v palivu se během dokonalého spalovacího procesu sloučí s atmosférickým kyslíkem za vzniku oxidu uhličitého podle následující rovnice:

$$\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$$

Při nedokonalém spalování vzniká oxid uhelnatý, který je však pro člověka na rozdíl od oxidu uhličitého toxický, a ve vyšších dávkách může způsobit až smrt. Důvodem je fakt, že CO se velmi ochotně váže v krvi na krevní barvivo hemoglobin, které zajišťuje transport kyslíku z plic do tkání [int 18]. Oxid uhelnatý je vázán na hemoglobin mnohem pevněji a má vyšší afinitu asi 200 – 250x [int 18] než kyslík. Vyšší dávky CO proto mohou způsobit smrt udušením.



V přírodě vzniká oxid uhličitý přirozeně např. únikem ze sopek, buněčným dýcháním, tlením, hnitím či kvašením.

Hlavním zdrojem oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí je dýchání [19]. Dýchání probíhá ve třech fázích. První fáze dýchání, probíhající v cytoplazmě, se nazývá glykolýza a dochází při ní k rozložení glukózy (6 C) na dvě molekuly pyruvátu (zbytek kyseliny pyrohroznové - 3 C). Glykolýza probíhá anaerobně, tedy bez přístupu kyslíku. Je-li v buňce přítomen kyslík, z pyruvátu se odstraní jedna molekula CO₂ a dvouuhlíkatý zbytek se pak v mitochondrii naváže na jinou látku a vytvoří acetyl-koenzym A. Ten poté vstupuje do druhé fáze nazývané Krebsův cyklus. V Krebsově cyklu je acetyl-koenzym A řadou enzymatických reakcí odbourán na oxid uhličitý. Poslední fáze se nazývá oxidativní fosforylace nebo – li dýchací řetězec a při ní se elektrony a zbytky vodíku (vodíkové protony) spojí s atomy

kyslíku a vytvoří molekulu vody. Poslední dvě fáze dýchání probíhají aerobně, tedy za přístupu kyslíku. Při dýchání se uvolní značné množství energie, která se ukládá do molekul ATP (adenosintrifosfát) a ty jsou poté využívány jako zdroj energie potřebný k udržení všech důležitých životních funkcí buňky [90].



2.2 Oxid uhličitý ve vnitřním ovzduší

Zdrojů oxidu uhličitého v interiéru může být několik a záleží především na tom, o jaký objekt se jedná, jaké činnosti se v něm provozují (např. jaký druh vytápění se v něm používá, zda se v prostorách kouří či ne apod.), kolik osob či zvířat se v něm vyskytuje/žije, zda jsou v interiéru přítomny rostliny, či zda se v okolí nachází nějaký významný zdroj CO_2 (vliv vnějšího ovzduší) apod.. Zdrojem CO_2 ve vnitřním ovzduší je především sám člověk [111, 123]. Při dýchání dochází ke změně vdechnutého kyslíku na oxid uhličitý, vydechnutý vzduch dospělého člověka tak obsahuje průměrně okolo 35 000 - 50 000 ppm CO_2 tedy zhruba 100x vyšší koncentraci než ve venkovním vzduchu [int 23]. Člověk se nadechne a vydechne asi 16x za minutu a každý výdech/nádech má objem asi 0,5 l. CO_2 je ve vydechnutém vzduchu při spánku asi 3,6%, za minutu tedy vydechne jeden člověk asi 0,3 l CO_2 [24, 55, 62]. Množství vydechaného CO_2 však záleží na váze, fyzické kondici, typu aktivity a jiných faktorech [145]. Dalšími zdroji CO_2 mohou být jiné živé organizmy (např. domácí zvířata a rostliny), plynové spotřebiče či jiná zařízení, v nichž dochází ke spalování [123]. Oxid uhličitý je významným indikátorem kvality vnitřního ovzduší a odvětratelnosti prostorů [111]. Ve vnitřním prostředí má CO_2 přímý negativní vliv na lidské zdraví [29], viz níže. Jak již bylo zmíněno v úvodu, v posledních desetiletích dochází neustále ke zhoršující se kvalitě vnitřního ovzduší a to především v důsledku omezeného větrání, zateplování a utěšňování budov kvůli úspoře energie a také tím, že lidé tráví v budovách čím dál tím více času [111].

2.3 Vliv CO_2 na zdraví

V rozvinutých zemích tráví lidé většinu svého času právě uvnitř budov, ale přesto byla donedávna zaměřena pozornost ohledně lidského zdraví především na kvalitu vnějšího ovzduší. V posledních letech se však IAQ významně mění, a proto stále přibývá prací zabývajících se právě kvalitou vnitřního ovzduší. Kvalita vnitřního prostředí začíná být stále více probíraným tématem a to především ve spojitosti s naším zdravím [19]. Lidé tráví většinu svého času v uzavřených objektech – městský člověk až 90% času [2, 27, 44, 70, 91,

123]. Vnitřní prostředí ovlivňuje tedy z velké části naše zdraví. Hlavní ukazatelem kvality vnitřního mikroklimatu je koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu. Zvýšená koncentrace CO₂ je často spojována s výskytem bolesti hlavy, astmatu, respiračních onemocnění, příznaků onemocnění horních dýchacích cest, kašle, dýchavičnosti, poruchy dýchání, alergické rýmy, zánětu průdušek a zhoršení výkonu či soustředění [29].

Hlavní způsoby expozice CO₂ člověka jsou především skrze vdechnutí. Níže jsou uvedeny i jiné způsoby expozice a vliv CO₂ na lidský organismus [int 2]:

- Vdechnutí: Nízké koncentrace CO₂ nejsou zdraví škodlivé. Vysoké koncentrace však mohou vytěsnit kyslík ze vzduchu, a pokud má lidské tělo k dispozici méně kyslíku, než se běžně v ovzduší nachází, může takový nedostatek způsobit např. zrychlené dýchání, zrychlený tep, bolest hlavy, emocionální rozrušení, únavu atd. [int 8]. Větší množství oxidu uhličitého v ovzduší může vést také k nevolnosti a zvracení. Symptomy se vyskytují mnohem rychleji spolu s fyzickou námahou. V tab. I jsou uvedeny účinky CO₂ na lidský organismus při různých koncentracích [int 14]. Podle dosavadních výzkumů způsobují koncentrace okolo 1000 ppm pocit ospalosti a vydýchaného vzduchu (odlišné u různých osob). Tato hranice se nazývá Pettenkoferovo kritérium a nad tuto koncentraci se nám může vzduch zdát vydýchaný a těžký, u některých osob se objevuje pocit únavy a ospalosti [int 19]. Pro zvyšující se koncentrace do 5000 ppm je typická bolest hlavy, nad 5000 ppm mohou osoby vystavené této koncentraci počítat s přímým zdravotním rizikem [27].

Tab. I: Účinky CO₂ na lidský organismus [int 15, int 23, int 32]

Koncentrace CO ₂	Účinky CO ₂ na lidský organismus
cca 350 – 400 ppm	úroveň venkovního prostředí
do 800 - 1000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách - Pettenkoferovo kritérium
1200 - 1500 ppm	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1000 – 2000	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000 – 5000	nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000 ppm	nevolnost a zvýšený tep
> 15 000 ppm	dýchací potíže
> 40 000 ppm	možná ztráta vědomí (35 000 - 50 000 ppm - vydechovaný vzduch dospělého člověka)

- Při styku s kůží: Oxid uhličitý kůži nikterak nedráždí. Přímý kontakt se zkapalněným plynem však může chladit nebo zmrazit pokožku (omrzliny). K takové expozici však v běžném prostředí nedochází, protože se oxid uhličitý nachází v ovzduší v plynném stavu.
- Kontakt s očima: Může způsobit mírné podráždění, ale běžné koncentrace na oční sliznici nepříznivě nepůsobí.
- Účinky dlouhodobé (chronické) expozice: Oxid uhličitý není z dlouhodobého hlediska v nízkých koncentracích škodlivý.
- Karcinogenita: Není známo, že by oxid uhličitý způsoboval rakovinu. CO₂ není specificky hodnocen Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny.
- Teratogenita / Embryotoxická: Není známý vliv CO₂ na poškození dítěte.
- Toxicita pro reprodukci: Není známo, že CO₂ představuje reprodukční nebezpečí.
- Mutagenita: Není známo, že by byl oxid uhličitý mutagen.

Protože koncentraci CO₂ nejsme často našimi smysly schopni posoudit, je osobní hodnocení kvality vzduchu velice nespolehlivé a individuální. Lidský organismus přestává koncentraci pachů po určité chvíli vnímat a naše čichové orgány se přizpůsobují prostředí, ve kterém se vyskytujeme [int 14]. Zcela jistě všichni známe situaci, když přijdeme do místnosti plné lidí a okamžitě cítíme těžký vydýchaný vzduch, který však po chvíli přestáváme cítit a vnímat. Naše čichové orgány se po chvíli danému prostředí přizpůsobí, avšak při určité koncentraci se vliv oxidu uhličitého projeví např. nesoustředěností, malátností, bolením hlavy, mžitkami apod.. Vydýchaný vzduch a zvýšené hodnoty oxidu uhličitého také způsobují pocit dusna [int 31]. Na umělé ovzduší je člověk schopen se částečně adaptovat, avšak u některých lidí se objevují potíže spojené právě s pobytem uvnitř budov, neboli syndrom nemocných budov (z anglického sick – building syndrom SBS, dále jen „SBS“). SBS definuje např. Mezinárodní organizace práce (International Labour Office) jako fenomén, který se objevuje, když 20% respondentů (pracovníků) uvádí symptomy spojené s jejich místem práce se specifickým spojením s IAQ [56]. Tento syndrom se projevuje např. drážděním očí a krku, kašláním, pocitem suchosti sliznic, nosní alergií, ucpaným nosem, rýmou, obtížemi při dýchání, kožní vyrážkou, bolestí hlavy, a má také řadu psychosomatických symptomů jako je snížení pracovní kapacity, úzkost, porucha paměti a soustředěnosti, nervozita, deprese, či denní ospalost a únava a noční nespavost. Tyto příznaky jsou vázány na pobyt v budovách a po opuštění budovy ustupují či úplně mizí. Příčina SBS není zatím zcela objasněna [5, 46, 91, int 14]. Syndromem nemocných budov trpí více děti, starší lidé, lidé trpící chronickými nemocemi a lidé různého věku žijící převážně ve městech [91]. SBS se spojuje především s

IAQ, jak ukazuje studie provedená Norhidayahem et al., kteří provedli výzkum pomocí dotazníků mezi lidmi a zároveň experimentálně zkoumali prostředí, ve kterém tito lidé žijí a došli k závěru, že SBS je významně ovlivněn akumulací ZL uvnitř vnitřního prostředí, a to zejména v důsledku snížené ventilace budov [91]. Anderson et al. ve své studii zjistili, že prevalence SBS závisí také na věku a pohlaví [5]. SBS zkoumalo mnoho studií, např. Warhocki et al. [135] a Seppänen et al. [114], kteří tvrdí, že pokud se koncentrace oxidu uhličitého udrží pod 800 ppm, může to snížit výskyt SBS. Na obr.1 je znázorněn výskyt SBS ve dvou typech budov – Code 4 (domácnosti s mechanickou ventilací s rekuperací tepla), Code 3 (domácnosti s přirozenou ventilací).

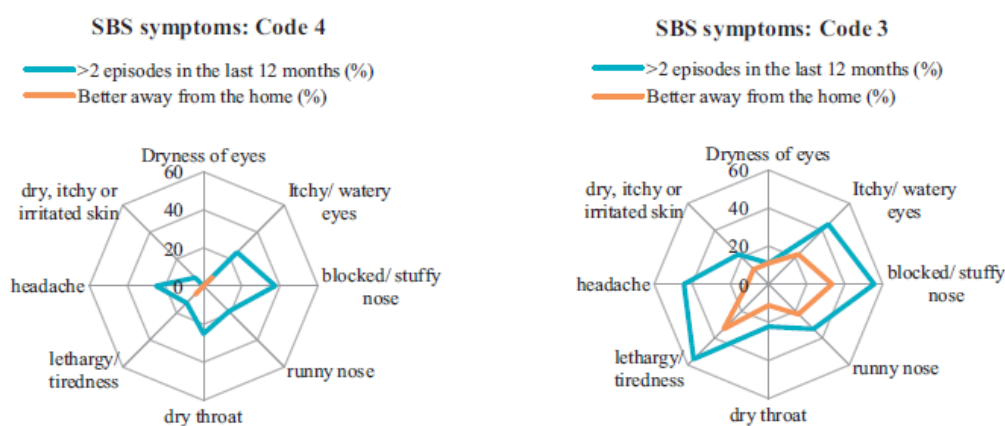
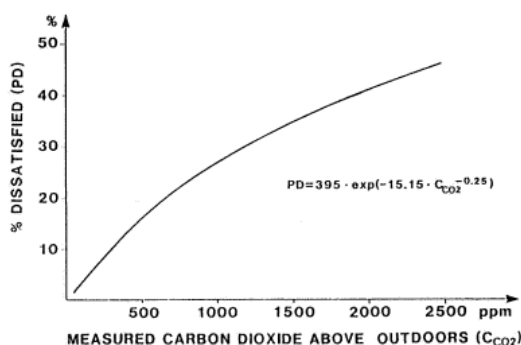


Figure 10. Presence of Sick Building Syndrome symptoms in Code 3 and Code 4 dwellings.

Obr. 1: Přítomnost SBS v budovách typu Code 4 (ventilace MVHR) a Code 3 (přirozená ventilace [75]

Z obr. 2 je patrné kolik procent lidí je nespokojeno s kvalitou ovzduší při určité koncentraci CO₂. Při doporučené koncentraci 1500 ppm se cítí nekomfortně asi 30% lidí [5].



Obr. 2: Spokojenost lidí s kvalitou ovzduší v závislosti na koncentraci CO₂ [5]

2.4 Oxid uhličitý ve venkovním ovzduší

Oxid uhličitý vzniká ve venkovním prostředí především dýcháním organismů a spalováním fosilních paliv pro dopravu a výrobu energie [143]. O oxidu uhličitém se mluví především ve spojitosti s venkovním ovzduším, skleníkovými plyny a globálním oteplováním. CO₂ je považován ve venkovním ovzduší zejména za skleníkový plyn a ne za znečišťující látku jako takovou, nemá tedy přímý vliv na lidské zdraví či ekosystémy. Příspěvek oxidu uhličitého ke globálnímu oteplování je však významný. Oxid uhličitý je po vodní páře (62%) nejvýznamnějším skleníkovým plynem (22%) [54]. Míra vlivu ostatních skleníkových plynů se přepočítává právě na ekvivalent CO₂ - GWP. Tento ekvivalent udává kolikrát silnější (slabší) vliv má určitý plyn na vznik skleníkového efektu v porovnání s CO₂. Velkým producentem emisí CO₂ je především doprava a průmysl využívající spalovací procesy. V rámci klimaticko – energetické politiky EU do roku 2030 jsou tedy diskutovány především nástroje na snížení emisní náročnosti automobilů [int 8]. Dalším krokem EU k omezení emisí CO₂ je stavba nízkoenergetických budov a rekonstrukce stávajících budov na budovy s vysokou energetickou účinností [int 8]. Světová politika vyhodnotila snížení produkce skleníkových plynů jako jednu z nejdůležitějších priorit a začala striktně plánovat společenský vývoj – např. rozvoj dopravy, plánování měst, produkci elektřiny apod. Velké množství literatury se zaměřilo na různé technologické alternativy, které by vedly ke zlepšení energetické účinnosti v energetice, dopravě a budovách [28]. Přírozený (pozitivní) skleníkový efekt je však nezbytný k existenci života na Zemi, protože bez skleníkového efektu by teplota na Zemi klesla o 30 °C a bylo by tedy – 15 °C [54, int 9]. Avšak lidská činnost skleníkový jev nepřirozeně umocňuje a to může v budoucnu vést k závažným klimatickým změnám. V předindustriálním období byla koncentrace oxidu uhličitého 280 ppm [int 26] a v budoucnu lze očekávat vzrůst na dvojnásobek, tedy až 560 ppm [int 26]. Při současné produkci emisí CO₂ by mohla koncentrace na takovou hodnotu stoupnout již během druhé poloviny 21. století [int 26]. Momentálně se koncentrace CO₂ v ovzduší pohybuje okolo 400 ppm [int 26]. Další negativní vliv může mít v budoucnu CO₂ na acidifikaci oceánů (oceánské ekosystémy) [84].

3. KVALITA A POHODA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Každému z nás se někdy stalo, že se necítil v místnosti dobře, či v ní dokonce nemohl ani vydržet, např. kvůli příliš vydýchanému vzduchu, nevyhovující teplotě či nějakému nepříjemnému pachu. Každý z nás vnímá určitým způsobem kvalitu vnitřního prostředí, a buď se v něm cítí dobře (pohodlně) či špatně (nepohodlně), tedy každý vnímá pohodu prostředí odlišně [int 12]. Souhrně řečeno kvalita vnitřního ovzduší je do velké míry subjektivní pojem. Nicméně důležité je si uvědomit, že ve vnitřním prostředí budov trávíme i více než 20 hodin denně, což je 80% dne [43, 44, int 31] a z toho ve vlastním bytě trávíme zhruba 10 až 12 hodin denně, tedy zhruba 50% dne [27, 43, 70, int 31]. Kvalitu vnitřního prostředí však můžeme do jisté míry ovlivnit, zlepšit tak pohodu prostředí a ochránit tak svoje zdraví. Vzhledem k době, kterou člověk stráví uvnitř budov, má kvalita vnitřního prostředí v budovách významný vliv na lidské zdraví a výkonnost [int 12].

Existuje několik základních faktorů ovlivňujících kvalitu vnitřního prostředí [int 31]:

- použitý stavební materiál
- vybavení interiéru
- forma údržby interiéru
- životní styl lidí pobývajících uvnitř
- mikroklimatické faktory – teplota, relativní vlhkost neboli tepelně vlhkostní složka a splnění požadavků na větrání (výměna vzduchu)
- infiltrace z vnějšího ovzduší (okolní zdroje, např. doprava či emise z průmyslu)

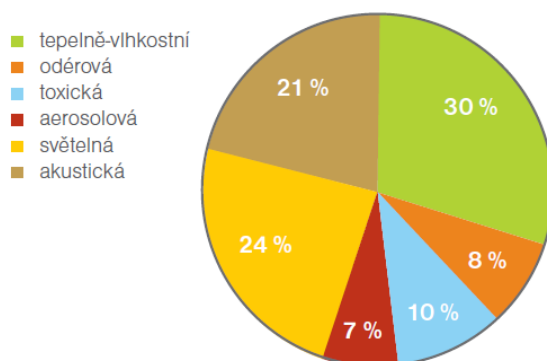
Kvalita vnitřního prostředí je definována fyzikálními, chemickými a biologickými složkami a mnohé z těchto složek můžeme ovlivnit právě větráním. Kvalita vnějšího prostředí bývá většinou lepší než uvnitř [109]. Mezi základní složky vnitřního prostředí patří:

- Tepelná složka – určuje tepelnou pohodu člověka, zdrojem tepla nebo chladu pro interiér budovy jsou venkovní klimatické podmínky, které se dovnitř přenášejí obvodovým pláštěm budovy a to zejména okny. V zimě nejvíce tepla uniká právě okny a v létě naopak vniká do budovy. Tepelná pohoda je stav, kdy prostředí odebírá lidskému tělu právě tolik energie, kolik tělo samo produkuje, jedná se tedy o tepelnou rovnováhu [109]. Tepelnou pohodu ovlivňuje také aktivita a oblečení člověka a pak i jiné aspekty jako je např. věk či pohlaví [44]. Více k teplotě viz kapitola 3.1.

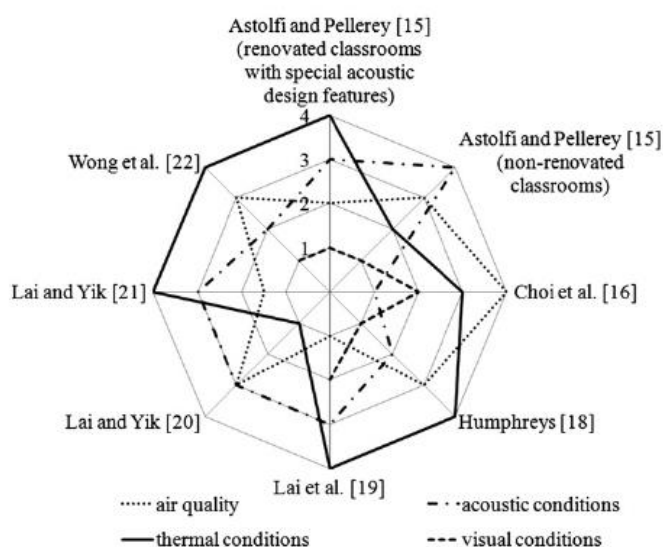
- Vlhkostní složka – spolu s tepelnou určuje tepelně – vlhkostní podmínky prostředí. Zajistit optimální teplotu budov je však mnohem snazší než zajistit optimální relativní vlhkost. Vlhkost bývá v zimních měsících nižší než během letních měsíců [109]. Více k vlhkosti viz kapitola 3.2.
- Odérová složka – vůně a zápachy (plynné složky ovzduší) jsou nazývány odéry [int 12]. Ve vnitřním prostředí vznikají odéry běžnou lidskou činností jako je např. vaření, ale také se mohou uvolňovat z vnitřního vybavení, např. styren, formaldehyd či ftaláty nebo pronikat dovnitř z venkovního prostředí. Vnímání oděru je vysoce subjektivní, ale také ho lze zhodnotit objektivně z hygienického hlediska [109].
- Aerosolová složka a prach – patří sem především domovní prach, či částice PM_{10} a $PM_{2,5}$ vznikající např. při různých domácích činnostech jako je vaření či uklízení [109]. Aerosol se v ovzduší vyskytuje ve formě pevných a kapalných částic či jako bioaerosol což jsou např. viry, bakterie, spory, houby, pylly atd.. Aerosol je buď přírodního, či antropogenního původu a dělí se na tři velikostní kategorie – hrubý ($1 - 100 \mu m$), jemný ($0,1 - 1 \mu m$) a ultrajemný ($0,001 - 0,1 \mu m$) [int 28].
- Mikrobiální složka – hlavními nositeli mikrobů jsou kapalné a pevné aerosoly, mikrobi mohou způsobovat např. alergické syndromy [int 12].
- Akustická složka a vibrace – hladinu hluku a vibrací uvnitř ovlivňují především vnitřní a vnější zdroje a proti jejich působení nás chrání zejména konstrukce budovy [int 12].
- Vizuální a světelná složka – tyto složky vnímáme zrakem a ovlivňují výrazně naši celkovou duševní pohodu, v obytných prostorech je optimální osvětlení a volba barev důležitá hlavně z hlediska fyzické a psychické regenerace organismu [109].
- Toxická složka – patří sem nejrozumnější toxické látky, které ohrožují naše zdraví a to např. oxid uhelnatý, formaldehyd, ozón atd. [int 12].
- Vnitřní ovzduší – vnitřní ovzduší je považováno za pohodlné, pokud se v něm cítí pohodlně majoritní podíl lidí (80% nebo více) a především pokud neobsahuje ZL v nebezpečných koncentracích a je zajištěno dostatečné odvětrávání místnosti [44].

Výše uvedené složky jsou lidmi vnímány odlišně, tedy jinak významně, což je znázorněno na obr. 3, kdy nejvýznamnějšími faktory ovlivňujícími pohodu prostředí je teplo,

vlhkost vzduchu, světelná a akustická složka [int 12]. Teplo je podle mnohých výzkumů tím zcela nejdůležitějším parametrem, co se vnímání pohody prostředí týče [43]. Různé studie provedené mezi lidmi hodnotí důležitost těchto faktorů odlišně viz. obr. 4, avšak ve většině studií se respondenti shodli, že nejdůležitějším faktorem je pro ně právě teplota [44].



Obr. 3: Složky vnitřního prostředí a jejich význam pro pohodu vnitřního prostředí [int 12]



Obr. 4: Hodnocení důležitosti různých faktorů prostředí v rámci celkové pohody prostředí, vyšší číslo indikuje vyšší hodnocení – důležitost [44]

Se zateplováním souvisí nejvíce IAQ. Pro indikaci IAQ se nejčastěji využívá měření koncentrace oxidu uhličitého, protože právě ten je v ovzduší jednoduše měřitelný [int 12]. Špatná kvalita vnitřního ovzduší má negativní vliv na dýchací ústrojí a jiné zdravotní následky. Znečišťující látky jsou emitovány buď přímo ve vnitřním prostředí např. z materiálů, produktů či různých činností nebo pocházejí přímo z vnějšího prostředí [29]. Dostatečné větrání vnitřních prostor je nezbytně důležité a ovlivňuje řadu faktorů – teplotu,

relativní vlhkost vzduchu a výskyt ZL ve vnitřním ovzduší. Jak již bylo zmíněno v úvodu a také např. ve zprávách Státního zdravotního ústavu, tak současné používání dokonale těsných oken sebou nese spoustu nevýhod a to jak zvyšující se koncentraci CO₂, tak zvyšující se relativní vlhkost a kumulaci škodlivin ve vnitřním prostředí [int 31]. Důležité je si uvědomit, že hygienické limity by měly být nadřazené úsporám energie a musí být v budovách dodrženy i při zateplení fasády a výměně oken. Většina uživatelů však jeví zájem pouze o energetickou stránku a zisky plynoucí z nového systému. Utěsněním vnitřního prostoru budovy přestává být funkční přirozené větrání. Zásadní vliv na člověka mají tepelně vlhkostní parametry obytné místnosti a z hlediska dopadu na lidské zdraví se zdá, že nejdůležitějším faktorem je právě kvalita vzduchu. Infiltrace/exfiltrace u stavebně těsných objektů s těsnými či utěsněnými okny je často blízka nule, přirozené větrání nefunguje a tak v mnoha případech není zajištěn ani minimální hygienický požadavek na větrání, čímž nelze zajistit potřebnou kvalitu vnitřního prostředí a chránit tak zdraví osob žijících v takovém prostředí [int 15]. Nedostatečným větráním se z vnitřního ovzduší nepodaří odvést vše, co zde vzniká především lidskou činností a je označováno jako škodliviny. Jedná se často o látky pro náš organismus toxické a to např. formaldehyd, který se uvolňuje z nového nábytku, dále pak hrozí riziko při používání bytové chemie např. čistících, dezinfekčních či deodoračních prostředků a to kvůli uvolňování potencionálně problematických látek jako je chlor či amoniak, které mohou být škodlivé při přímém vdechnutí nebo působí na pokožku apod.. Důležité je také odvětrání produktů spalování při vaření a kouře pokud se v domácnosti kouří. Mnohé látky vznikající ve vnitřním prostředí mohou být alergizující či dokonce karcinogenní. Česká republika je také jednou ze zemí, kde se vyskytuje jedna z nejvyšších koncentrací uranu v podloží na světě a jeho přeměnou vzniká radon, který je třeba z vnitřního prostředí odvětrávat. Podle WHO je radon hned druhou nejvýznamnější příčinou rakoviny plic po kouření, které je na prvním místě [int 31]. Ve vnitřním prostředí se vyskytuje mnoho ZL: formaldehyd, benzen, α - pinen a limonen, naftalen, NO₂, CO, CO₂, radon, trichlóretylén, tetrachlorethýlen, PAU a BaP, aerosolové částice (PM₁₀ a PM_{2,5}), alergeny a bakterie v prachu a plísniích atd. [29]. Ve vnitřním ovzduší také může dojít k výskytu nových ZL v důsledku vzájemného chemického či bio – chemického působení. Vytvoření kvalitního vnitřního mikroklimatu bez takových ZL je tedy zcela jistě oblast, kterou je nutné se podrobně zabývat.

Co je to tedy pohoda prostředí? Pohoda prostředí zahrnuje fyzický a fyziologický pocit lidí a vnímání jejich okolního prostředí, snaží se zjistit, kdy se člověk cítí pohodlně a může se soustředit na svoji činnost, aniž by byl rušen naměřenými podněty [116]. Koncept pohody prostředí je spíše využíván v kontextu pracovního a komerčního prostředí než v kontextu

obytných budov. Na pohodu vnitřního prostředí mají vliv také sociální vztahy či jiné nefyzické faktory jako je např. pocit soukromí. Lze tedy říci, že prostředí má nejen složku chemickou a fyzickou, ale také složku psychosociální [44, 116]. Pohoda prostředí se dá také definovat jako spokojenost s celkovou kvalitou vnitřního prostředí [44]. Na pohodu bydlení, resp. kvalitu prostředí, máme nárok i podle vyhlášky 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území. Dle Nejvyššího správního soudu je třeba pohodou bydlení „rozumět souhrn činitelů a vlivů, které přispívají k tomu, aby bydlení bylo zdravé a vhodné pro všechny kategorie uživatelů, resp. aby byla vytvořena vhodná atmosféra klidného bydlení; pohoda bydlení je v tomto pojetí dána zejména kvalitou jednotlivých složek životního prostředí, např. nízkou hladinou hluku (z dopravy, výroby, zábavních podniků, ze stavebních prací aj.), čistotou ovzduší, přiměřeným množstvím zeleně, nízkými emisemi pachů a prachu, osluněním apod.; pro zabezpečení pohody bydlení se pak zkoumá intenzita narušení jednotlivých činitelů a jeho důsledky, tedy objektivně existující souhrn činitelů a vlivů, které se posuzují každý jednotlivě a všechny ve vzájemných souvislostech“ [108]. Pohodu vnitřního prostředí lze hodnotit subjektivně nebo objektivně [44, 65, 116]. Vnímání pohody prostředí je do jisté míry individuální záležitost, která závisí na věku, pohlaví, tělesné konstituci, zdravotním stavu a duševním rozpoložení a také aktuální činnosti. Z toho lze usuzovat, že pokud se na jednom místě vyskytuje více lidí, vnímá každý z nich okolní prostředí odlišně, někdo může stejné vnitřní podmínky vnímat dobře a jinému už mohou působit nepohodu [44, 65, 116]. Při subjektivním hodnocení člověk hodnotí prostředí skrze své pocity a u objektivního hodnocení jsou výchozí provedená měření [65].

V posledních letech se postupně objevují určité průzkumy subjektivního vnímání kvality prostředí vnitřních prostor a to především za účelem zvýšení kvality vnitřního prostředí – např. ve školách, v pracovním prostředí či v obytných budovách [43, 44]. Respondentům jsou rozdávány dotazníky, ve kterých anonymně hodnotí kvalitu vnitřního prostředí např. u sebe doma, v práci, či ve škole a také některé fyziologické projevy (různé bolesti, únava či stres), které spojují se svým pobytem uvnitř budov. Výsledky se poté kvantifikují, a pokud více lidí uvádí stejný či podobný subjektivní nepříjemný pocit, hledá se možná příčina vzniku tohoto nepříjemného pocitu. Na základě takového dotazníku je pak možno provést laboratorní vyšetření či odborná měření ovzduší [29]. Například Frontczak et al. provedli dotazníkové šetření u 645ti respondentů, kteří jim odpovídali na otázky spojené s kvalitou vnitřního prostředí a pohodou. 54% z respondentů uvedlo, že mají alespoň 1 problém s IEQ [43], ale jen 65% z nich se ho snažilo nějak vyřešit a to především

prostřednictvím hledání informací na internetu. Většina z nich si nebyla jistá, zda má jejich problém s vnitřním prostředím vliv také na jejich zdraví [43].

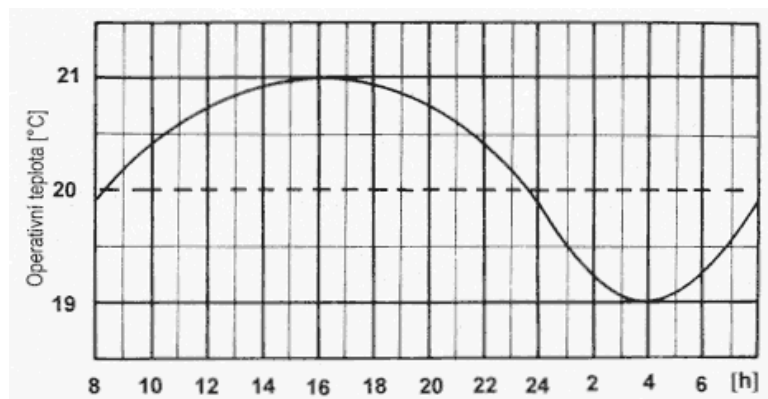
Pro posuzování stavu prostředí slouží např. norma ČSN EN 7730, která má řadu stupnic, podle kterých se prostředí označuje za pohodlné, mírně nepohodlné, nepohodlné a značně nepohodlné. Hodnoceným kritériem je zde vnímání pocitu chladu a tepla a vlhkosti vzduchu – vlhký či suchý vzduch [int 14]. Nutno podotknout, že požadavky na vnitřní prostředí uváděné v různých právních předpisech se nevztahují na byty a bytové domy, a nejsou tak našimi předpisy stanoveny. Je možné se pouze držet doporučení, která jsou uvedena v normách ČSN nebo zahraničních normách.

3.1 Teplota

Teplota a vlhkost patří mezi nejdůležitější složky vnitřního prostředí, vzhledem ke zdraví a spokojenosti lidí, ale také ve vztahu k životnosti stavebních materiálů, budov a technologií [int 12]. Teplota ovlivňuje tepelnou pohodu člověka a předpokladem tepelné pohody je vyrovnaný stav toku tepla mezi člověkem a prostředím bez viditelného pocení, nebo naopak bez pocitu chladu a bez použití ochranných termoregulačních procesů lidského těla. Tepelná pohoda je také ovlivněna rychlostí proudění vzduchu, rychle proudící vzduch snižuje pocitovou teplotu.

V místnosti není důležitá jen sama teplota ovzduší, ale také prostorové rozložení teplot. Člověk by neměl pobývat v prostředí, kde je velký rozdíl teplot v úrovni mezi hlavou a kotníky [65]. Optimální teplota uvnitř budovy je v zimním období pro oblečeného člověka 20 – 22 °C [Internet 1], nebo také jiným zdrojem uváděno 21,5 °C ± 2 °C [109] a v letním období 26 °C ± 2 °C [109]. Teplota uvnitř budovy v létě je závislá především na venkovní teplotě. Optimální rozdíl mezi teplotou uvnitř a venku během léta je 4 – 6 °C, tento rozdíl není rizikový z hlediska nachlazení [109]. V obytných budovách se doporučuje dodržovat hodnoty vnitřní výsledné operativní teploty v rozmezí 18 – 24 °C v otopném období a 20 – 28 °C v letním období [int 28]. Jako minimální operativní teplota se uvádí 18°C, optimální 20°C ± 2 °C a maximální teplota 27 °C. Operativní teplotou se rozumí aritmetický průměr pravidelně měřených teplot v intervalech nejdéle jedné hodiny mezi 6 a 23 hodinou. Dosažení optimální teploty předpokládá vytápění v zimě a chlazení v létě - alespoň skrze ochranu před nadměrným zářením slunce např. žaluziemi. Teplota v interiéru by neměla klesnout pod 16 °C, protože pak se snižuje obranyschopnost organismu vůči respiračním onemocněním [61]. Teplotní komfort byl obyvateli vyhodnocen jako nejdůležitější faktor ovlivňující jejich

pohodu a je doporučeno, aby teplota uvnitř následovala venkovní teplotu, nežli aby byla držena konstantní, vnitřní teplota by tedy měla následovat sezónní změny během roku [44]. Na obr. 5 je vidět vhodný průběh operativní teploty během dne s nočním útlumem v nočních a brzkých ranních hodinách [61].



Obr. 5: Průběh operativní teploty v interiéru budovy [61]

Teplota v obytných místnostech je upravena např. vyhláškou č. 20/2012 Sb., o technických požadavcích na stavby ve které se píše, že obytné místnosti musí mít zajištěno vytápění v souladu s normovými hodnotami, s možností regulace vnitřní teploty [131]. V tab. II jsou uvedeny výpočtové vnitřní teploty podle ČSN EN 7730, ČS EN 12831: 2003, ČSN EN 7726 nebo ČSN 73 0540-3 a doporučená (informativní) relativní vlhkost vzduchu. Tyto hodnoty jsou stanoveny podle vyhlášky č. 194/2007 Sb. ve znění vyhlášky č. 237/2014 Sb., která stanovuje, že byty v průběhu otopného období v době od 6.00 do 22.00 hod. a ostatní prostory v době jejich provozu musí být vytápěny tak, aby dosažené průměrné teploty vnitřního vzduchu zajišťovaly výpočtové teploty vnitřního vzduchu stanovené projektem budovy [132]. Výpočtová teplota vnitřního vzduchu stanovená projektem je výsledná teplota, která zohledňuje vedle teploty vnitřního vzduchu i vliv sálání okolních stěn. Kontrola dodržení výpočtové teploty vnitřního vzduchu se ověřuje kulovým teploměrem.

Tab. II: Vnitřní výpočtové teploty a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu v otopném období ve vytápěných místnostech [61]

Obytné budovy	Vnitřní výpočtová teplota v otopném období [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu [%]
1. Trvale užívané		
Obývací místnosti *	20	50 - 60
Kuchyně	20	50 - 60
Koupelny	24	φ_i^3
Předsíně, chodby	15	50 - 60
Schodiště	10	50 - 60
2. Občasné užívané (rekreační)		
Obývací místnosti *	20	50 - 60
Kuchyně	20	50 - 60
Koupelny	24	φ_i^3
Předsíně, chodby	15	50 - 60
Schodiště	10	50 - 60

φ_i^3 Relativní vlhkost vnitřního vzduchu se stanoví jako střední hodnota z celodenního časového snímku vnitřního prostředí daného vnitřního prostoru [132]. V koupelnách by relativní vlhkost vzduchu měla být 60%, protože při této hodnotě lze ještě předpokládat minimální výskyt plísní [61]. ,

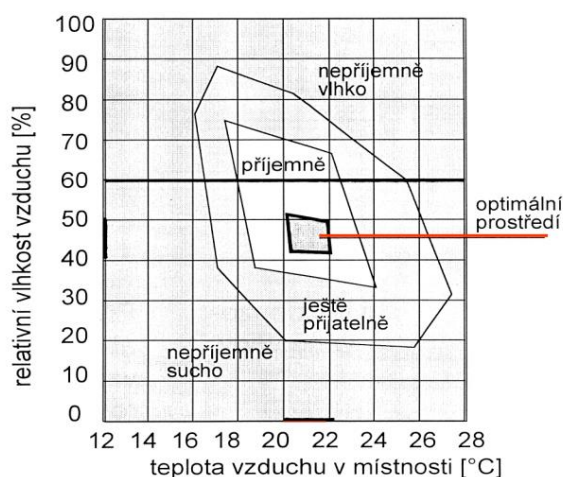
* (obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, dětské pokoje)

3.2 Vlhkost

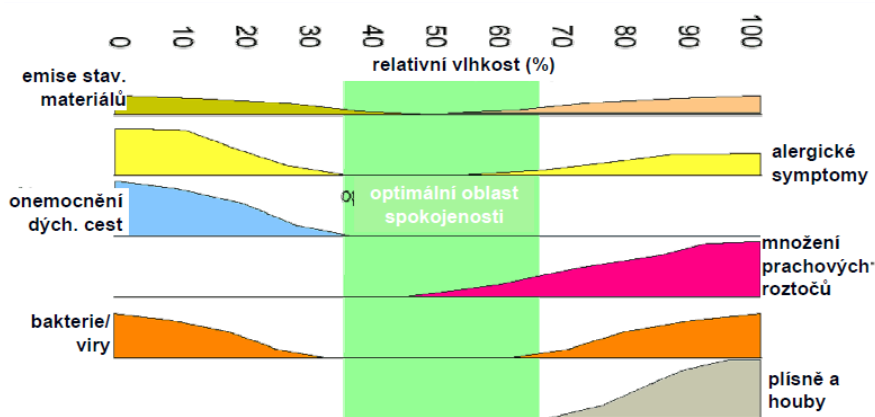
Vlhkost se nejčastěji udává jako relativní vlhkost, která se počítá v procentech a znamená poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Relativní vlhkost v interiéru spolu s teplotou se mění během roku a pohybuje se v rozmezí 30 – 70%, v létě bývá teplota i relativní vlhkost vzduchu vyšší [int 28]. Optimální relativní vlhkost v místnosti je během roku 35 – 50% [int 31], nebo se také uvádí 40 – 60% [int 12]. Za suché až extrémně suché prostředí se označuje prostředí, kde je relativní vlhkost vzduchu menší než 20% a naopak za vlhké se považuje prostředí, kde relativní vlhkost vzduchu přesahuje 60%. V zimě dochází v domácnostech často k přetápění a následnému poklesu relativní vlhkosti vzduchu pod 20%, v takovém případě je lepší relativní vlhkost uměle udržovat okolo 40%. Relativní vlhkost vzduchu kolem 70 – 80% však může vést ke vzniku plísní [int 14, int 31]. Nevhodná relativní vlhkost vzduchu může také způsobit různé zdravotní problémy, např. při příliš suchém

vzduchu může dojít k vysoušení sliznic, což může být spojeno se zvýšeným rizikem nemocí z nachlazení, či naopak příliš vysoká vlhkost vede k tvorbě nebezpečných plísní či bolesti kloubů [int 12]. Vysoká vlhkost také vede k omezení odpařování potu, což způsobuje nedostatečné ochlazování organismu a to může vést ke zdravotním problémům [int 14]. Při špatném větrání často dochází ke zvýšené vlhkosti v bytě a tím k orosení oken, náletům plísní na zdi a naopak při přetápění dochází k nízké vlhkosti a tím k pocitu dráždění ze suchého vzduchu [int 31]. Vlhkost je určována nejen obsahem vodní páry ve venkovním prostředí, ale také především zdrojem vodní páry uvnitř [109]. Udává se, že produkce vodní páry je 10 – 15 kg/den pro průměrný byt [int 28].

Z obr. 6 je patrné, že optimální prostředí se pohybuje s relativní vlhkostí mezi 40 – 50% a teplotou mezi 20 – 22°C. Většina lidí však nemá přehled o tom, jakou vlhkost ve svém bytě mají a vlhkoměry v jejich domácnosti často zcela chybí. Optimální vlhkostí vnitřního prostředí můžeme zamezit tvorbě plísní a tím pádem i zdroji možných alergenů [int 31]. Na obr. 7 je znázorněna závislost příčin vzniku zdravotních onemocnění na vlhkosti.



Obr. 6: Pohoda prostředí v závislosti na vlhkosti vzduchu [int 15]

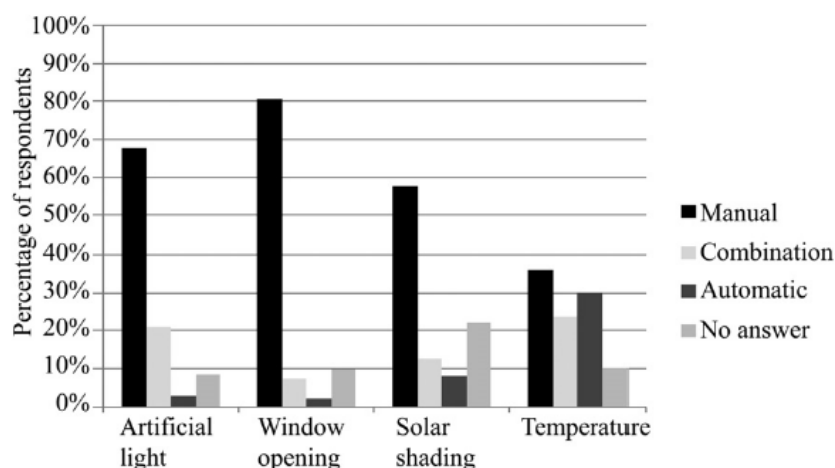


Obr. 7: Závislost příčin vzniku zdravotních onemocnění na vlhkosti [int 12]

3.3 Větrání a intenzita výměny vzduchu

V minulosti probíhalo větrání v budovách přirozeným způsobem a to pomocí netěsností v budově, hlavně skrze netěsná okna. Větrání bylo propojeno se systémem vytápění a intenzita výměny vzduchu byla odvislá právě od vytápění. V dnešní době jsou však domy tak těsné, že přirozené větrání infiltrací není funkční [int 31].

Hlavní důvod, proč by v budově mělo docházet k výměně vzduchu, je odvod vlhkosti a škodlivin z budovy a hlavně přísun čerstvého vzduchu s dostatkem kyslíku [89]. Uživatelé by měli mít možnost si režim větrání sami nastavit, nebo umět dobře využívat mechanické systémy větrání [29]. Většina uživatelů si však radši upravuje podmínky vnitřního prostředí skrze manuální nastavení [43], např. otevřením okna, či nastavením termostatu. Podle Frontczaka et al. uváděla většina uživatelů při dotazníkovém šetření (n=645), že právě otevírání oken jim dává možnost jejich vlastní kontroly nad vnitřním ovzduším, výsledky dotazníkového šetření jsou patrné z obr. 8. Zajímavé je, že 43% respondentů, kteří vlastní mechanický systém ventilace, cítí možnost otevření oken jako důležitější volbu a dávají jí přednost [43]. Z toho vyplývá, že přirozené větrání skrze otevírání oken je u obyvatel domácností preferovaným způsobem, jak udržovat dobrou IAQ. Většina lidí si myslí, že přirozené větrání je zdravější, i přes to, že mnohé studie ukazují na fakt, že mechanická ventilace zabezpečí vhodnější vnitřní prostředí [43]. Nejvhodnějším řešením, jak zajistit optimální teplotu a větrání, je kombinace automatického a manuálního systému, kdy je minimální větrání zajištěno automaticky a uživatel si v případě potřeby může otevřít okno a vpustit tak dovnitř studený čerstvý vzduch [43]. Podle Frontczaka et al. lidé v budovách s přirozeným větráním jsou méně citliví na výkyvy teplot mimo teplotní optimum, než lidé zvyklí pobývat v prostoru s klimatizací. Obyvatelé budov s přirozenou ventilací tolerují v létě vyšší a v zimě nižší teploty oproti obyvatelům pobývajících v klimatizovaných budovách [44].



Obr 8: Graf znázorňující preferenci různých druhů kontroly nad parametry vnitřního prostředí: Manual – manuální, Combination – kombinovaná, Automatic – automatická, No answer - bez odpovědi, odpovědi *já nevím* a respondenti, co neodpověděli; Artificial light – umělé osvětlení, window opening – otevírání oken, solar shading – stínění slunce, temperature – teplota [43]

Množství větracího vzduchu záleží na následujících faktorech [109, int 15]:

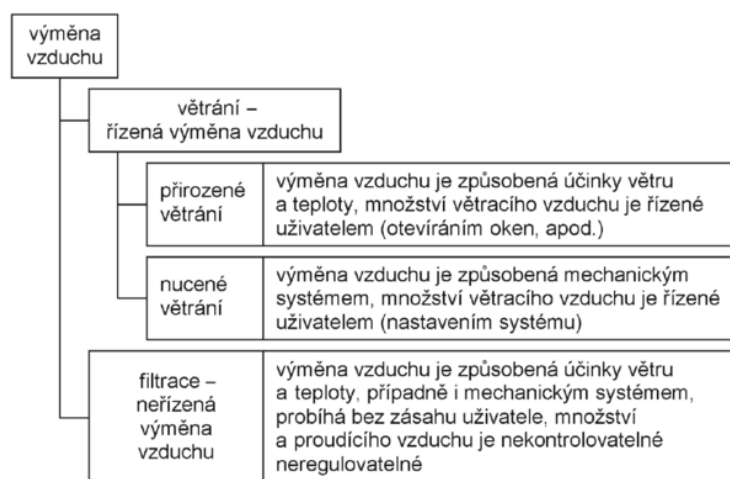
- Množství škodlivin vznikajících ve vnitřním prostředí
- Počtu, činnosti a fyzické aktivitě pobývajících osob
- Kvalitě venkovního prostředí
- Subjektivním komfortu (např. vnímání pachů atd.)
- Objektivní kvalitě vnitřního prostředí (např. podle koncentrace CO₂ či vlhkosti)
- Konstrukci budovy

Výměna vzduchu v prostoru probíhá různými větracími systémy [89, 109, int 15], viz obr. 9:

- Přirozeným – skrze přírodní hnací síly neboli vztahové síly, jedná se o samovolné větrání bez možnosti regulace, nejčastěji skrze okenní spáry.
- Nuceným – skrze vzduchotechnické zařízení s ventilátorem poháněným motorem, jedná se o větrání s možností regulace. Výhodou nuceného větrání je nezávislost na klimatických podmínkách, možnost filtrace, chlazení či ohřevu vzduchu a také možnost nastavení dle potřeby. Vzduch se do místnosti a z místnosti dopravuje potrubím. Nejčastějším typem nuceného větrání je podtlakové větrání, kdy v místnosti dochází pomocí ventilátoru k odvodu

vzduchu a tím vzniká podtlak a následně je stejné množství vzduchu přivedeno z venku. Nejlepším způsobem nuceného větrání je větrání s rekuperací tepla (se zpětným získáváním tepla) [89, 109].

- Kombinovaným neboli hybridním – skrze přirozené a řízené větrání, které poskytuje možnost regulace. Jedná se o kombinaci přirozených vztlakových sil a mechanických sil nuceného větrání. Touto kombinací se docílí jak kvalitního vnitřního ovzduší, tak minimální spotřeby elektrické energie. Vhodné je umístění čidel CO₂, která by v případě potřeby spustila nucené větrání. Čidla se však instalují do bytových jednotek opravdu minimálně, protože systémy s dávkováním vzduchu jsou drahé [89, 109].
- Při použití klimatizace – skrze nucené řízené větrání s možností regulace.



Obr. 9: Různé způsoby výměny vzduchu v budově [89]

Větrání v budovách by mělo splňovat několik následujících zásad [109]:

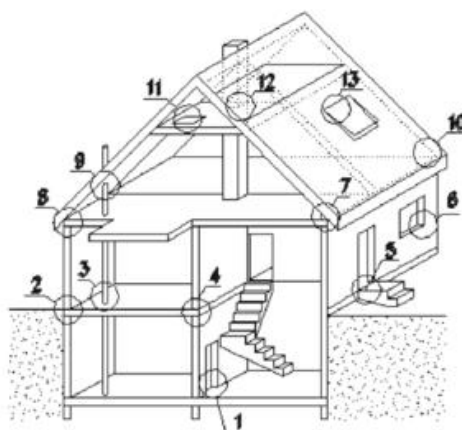
- Platný hygienický předpis v ČR
- Přívod dostatečného množství čerstvého vzduchu
- Přívod hygienicky nezávadného vzduchu do místnosti, a to nejlépe ze stinné strany
- Přívod čerstvého vzduchu by měl být situován do obytných místností a odtud pak do odvodních prvků v koupelně, WC a kuchyni, které musí být v mírném podtlaku
- Přívod vzduchu nesmí způsobovat uživatelům pocit průvanu, průnik hluku a prachu z vnějšího prostředí

- U nuceného větrání musí být výfuk odpadního vzduchu vyveden tak, aby neobtěžovat uživatele, tedy nejlépe na střechu, nikoli pod okna bytů
- Větrací zařízení nesmí způsobovat nadměrný hluk a musí se dát snadno udržovat

Jak správně větrat dle Státního zdravotního ústavu [int 31]:

- Každé ráno dokořán otevřenými okny alespoň na 5 minut
- V průběhu dne v závislosti na vlhkosti – vhodné je krátké a intenzivní větrání
- Vhodné větrání je křížem např. přes protilehlá okna či dveře
- Doba větrání závisí na teplotě venku – čím je venku chladněji, tím kratší čas stačí k větrání, v zimě tedy 4 – 6 minut, na jaře a na podzim alespoň 10 – 20 minut a v létě minimálně 30 minut

Přírozené větrání vzniká v důsledku působení vztlačových sil vzniklých rozdílem hustot venkovního a vnitřního vzduchu, a tlakovými rozdíly, které vznikají při obtékání větru kolem budovy. Působením vztlačových sil vzniká v horní části budovy vzhledem k atmosférickému tlaku přetlak a v dolní části naopak podtlak. Hustota vzduchu závisí na teplotě, která se během roku mění. Nejúčinnější je tedy vztlačový systém právě v zimě, kdy je velký rozdíl mezi vnitřní a vnější teplotou. Aby přírozené větrání lépe fungovalo, bývají domy vybaveny světlíky a větracími šachtami, avšak nejvyužívanějším způsobem přírozeného větrání budov je infiltrace okenními spárami [109]. Obálka budovy není nikdy dokonale vzduchotěsná, vždy propouští do určité míry vzduch. K proudění vzduchu skrz obálku budovy dochází nejvíce v místech netěsných spojů viz obr. 10. Proudění vzduchu těmito netěsnostmi významně přispívá k výměně vzduchu, a proto není žádoucí zcela dokonalé utěsnění budovy hlavně vzhledem k dodržení hygienickým požadavků na zajištění přísunu dostatečného množství čerstvého vzduchu. Výměna vzduchu ovlivní nejen kvalitu vnitřního prostředí, ale i tepelné chování budovy a tepelně vlhkostní poměry budovy. Na jednu stranu je výměna vzduchu důležitá kvůli hygienickým limitům, ale na druhou stranu také musí být splněna určitá kritéria na omezení tepelných ztrát s ohledem na energetickou náročnost budovy. Vše záleží hlavně na kvalitě a správně zvolené obalové konstrukci budovy. Přílišná netěsnost budovy je na škodu kvůli zvýšeným tepelným ztrátám či průvanu [89].



Obr. 10: Typické netěsnosti budovy [89]

Základním požadavkem na větrání je Pettenkoferovo kritérium, se kterým přišel v 19. století Max von Pettenkofer (1818 – 1901), který prokázal, že hlavními metabolity ve vnitřním prostředí je oxid uhličitý a vodní pára. Pettenkofer měřil množství CO_2 ve vydechovaném vzduchu a došel k závěru, že množství CO_2 závisí na fyzické aktivitě člověka. V bdělém stavu produkuje člověk za normálních podmínek asi 16 - 20 l/h CO_2 [61, 109, int 15, int 31]. Pettenkofer také zjistil, že koncentrace oxidu uhličitého nám dává informaci o kvalitě větrání a určil maximální přípustné množství na 0,1 obj. %, tedy $1000 \text{ ppm} = 1 \text{ l/m}^3 = 1800 \text{ mg/m}^3$, z toho plyne, že dávka čerstvého vzduchu by měla být asi $25 \text{ m}^3/\text{h}$ pro dospělého člověka [int 15], respektive $23 - 28 \text{ m}^3/\text{h}$ [109]. Pro srovnání, venkovní koncentrace oxidu uhličitého je zhruba 0,03%, což je asi $300 \text{ ppm} = 0,3 \text{ l/m}^3 = 540 \text{ mg/m}^3$ [109]. Objemový tok větracího vzduchu by měl být minimálně 8 l/s, což postačí k dostatečnému odvodu zápachu z budovy, který vzniká vlivem pobytu lidí a v takovém prostředí by 80% uživatelů nemělo zápach pociťovat [89]. Osoby v budovách jsou již celkově adaptované, proto se uvádí, že akceptovatelně sníženou kvalitou vzduchu je koncentrace oxidu uhličitého 1500 ppm, neboli 0,15 % CO_2 , pak vychází množství čerstvého vzduchu na $13 - 16 \text{ m}^3/\text{h}$ [109].

Nejčastějším parametrem větrání je tzv. výměna vzduchu, která určuje, kolikrát se za hodinu vzduch v místnosti vymění čerstvým vzduchem [109, 131]. Vyhláška č. 20/2012 Sb., o technických požadavcích na stavby říká: pobytové místnosti musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty. Pro větrání pobytových místností musí být zajištěno v době pobytu osob minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu, nebo minimální intenzita větrání $0,5 \text{ h}^{-1}$ (což znamená, že se vzduch v místnosti zcela vymění za 2 hodiny). Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO_2 , jehož koncentrace ve vnitřním

vzduchu nesmí překročit hodnotu 1500 ppm [131]. Aby byla dodržena koncentrace 1000 ppm je nutný přívod vzduchu 30 m³/hod na osobu [Internet9]. U stavebně těsných budov však nedochází k přirozenému větrání a není tak zajištěno naplnění předpisů a hygienických limitů [int 15]. Větráním budov se také zabývá norma ČSN EN 15780 Větrání budov – Vzduchovody – Čistota vzduchotechnických zařízení či norma ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov, která požaduje v obytných místnostech budov intenzitu výměny vzduchu také 0,5 h⁻¹, avšak v normě je komentováno, že požadavky na intenzitu výměny vzduchu byly ovlivněny hlavně vysokými požadavky na nízkou spotřebu energie a pravděpodobně nevystihují všechny hygienické požadavky [95]. Dále pak požadavky na větrání upravuje norma ČSN EN 15665/Z1 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov, Změna Z1. Požadavkem této normy je zajištění trvalého přívodu venkovního vzduchu s minimální intenzitou větrání 0,3 h⁻¹ v obytných prostorech (pokoje, ložnice, apod.) a kuchyních. V době kdy obytné budovy nejsou dlouhodobě užívány lze připustit provoz s nižší intenzitou větrání 0,1 h⁻¹ [94]. Norma ČSN EN 15 521 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky doporučuje intenzitu větrání 0,5 - 0,7 h⁻¹ [93]. Větší hodnota pro větrání by měla platit pro větrání znečištěnějším venkovním vzduchem a nižší hodnota pro větrání čistějším venkovním vzduchem [61].

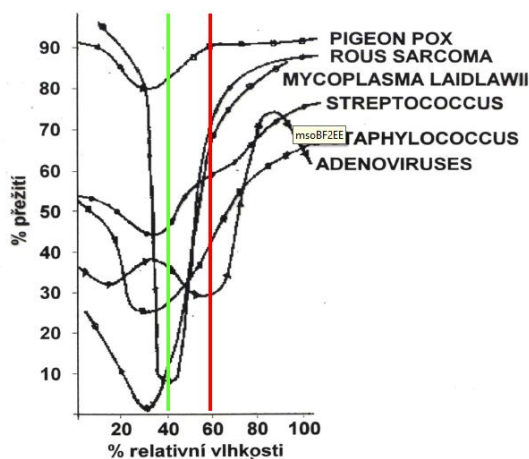
Množství vzduchu protékajícího dovnitř budovy závisí na tlakovém rozdílu. Tlakový rozdíl je vyvolaný především rozdílem teploty mezi vnitřním a venkovním prostředím, což je důsledkem jiné hustoty venkovního a vnitřního ovzduší. Hustota vzduchu záleží na barometrickém tlaku, teplotě a vlhkosti vzduchu, přičemž vliv vlhkosti je skoro zanedbatelný a barometrický tlak se v budově nemění, proto tlak závisí především na rozdílu teplot a výšce budovy. Tlakový rozdíl může vzniknout také díky větru. Obtékání větrem závisí na tvaru budovy, rychlosti, síle a směru větru, okolním terénu a stínění okolních budov [89]. Ukazatelem prostupu vzduchu je součinitel spárové průvzdušnosti, který vyjadřuje objemový tok vzduchu (viz rovnice níže) v m³/s, proudící 1 m délky otevíravých spár oken a dveří, při tlakovém rozdílu mezi oběma stranami konstrukce 1 Pa, tedy [m³/m·s⁻¹·Pa^{-0,67}] [109].

$V = 3600 \cdot L \cdot I \cdot \Delta p^n$ [m³/h], kde V je objemový tok vzduchu v [m³/s], L je délka otevíravých spár oken a dveří v [m], I je součinitel spárové průvzdušnosti v [m³/m·s⁻¹·Pa^{-0,67}] a Δp rozdíl tlaku vzduchu mezi návětrnou a závětrnou stranou konstrukce či objektu v [Pa] [109]. Exponent proudění n popisuje charakter proudění a jeho hodnota leží v intervalu od 0,5 (turbulentní proudění) po 1 (laminární proudění), pokud není upřesněno, používá se většinou hodnota 0,67 [89, 109].

3.4 Plísně

Plísně jsou mikroskopické houby rostoucí skoro všude tam, kde je dostatek vlhkosti. Plísně vytvářejí reprodukční orgány se sporami, které se uvolňují do okolí a jsou unášeny i na velké vzdálenosti. Venku rostou plísně nejčastěji na rostlinném odpadu či v půdě a ve vnitřním prostředí rostou nejčastěji na zdech. Základní podmínkou růstu plísní je vysoký obsah vody v substrátu, na kterém rostou. Příčinou zvýšené vlhkosti uvnitř bytu mohou být stavební závady či špatné vnitřní prostředí. Stavební závadou se myslí např. zatékání vody do domu. Nejčastěji vznikají plísně kondenzací vodní páry z ovzduší v místě se sníženou teplotou např. na zdech či oknech. Plísně se tedy často vyskytují na zdech, které mají nízkou povrchovou teplotu a v jejich okolí je vysoká vzdušná vlhkost. Vodní pára zde kondenzuje a poté se do zdi vsakuje. Plísně vznikají v důsledku nedostatečného odvodu vlhkosti (vodní páry), která vzniká např. při vaření či praní [int 29]. Výskyt plísní je spojen se zvýšenou vlhkostí vzduchu a omezenou ventilací [42, 91]. Plísně se podle Státního zdravotního ústavu často tvoří v bytech s plastovými okny a v bytech s nevhodně provedenými rekonstrukcemi např. zasklené lodžie, či v bytech, kde je příliš mnoho často zalévaných květin. Náchylné k tvorbě plísní jsou i byty, které jsou málo využívané, a tím pádem se v nich nedostatečně větrá a topí, nepohybuje se vzduch totiž podporuje růst plísní [int 29].

Plísně rostou v místech s vlhkostí kolem 70% - 80% [109, int 12], to uvádí také norma ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov [95]. Požadavky normy jsou prevencí proti nadměrné kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce a následným vlhkostním problémům [95]. Výskyt plísní je limitován vyhláškou č. 6/2003 Sb., zákona č. 258/2000 Sb., O ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů pro vnitřní prostředí pobytových místností a to hodnotou 500 KTJ (kolonii tvořící jednotka) plísní / m³ vzduchu. Přestože byty nepatří podle zákona mezi pobytové místnosti, orientačně se výskyt spor mikromycet v nich posuzuje podle této hodnoty [int 29]. Růst různých mikroorganismů v závislosti na vlhkosti je znázorněn na obr. 11.



Obr. 11: Růst mikroorganismů (bakterií a virů) v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu [int 15]

Plísně, přesněji řečeno jejich spory, patří mezi alergenů a můžou způsobovat alergická onemocnění včetně astma bronchiale. Alergie jsou časté právě u dětí. Plísně produkují mykotoxiny (sekundární metabolity), které jsou často toxické, mutagenní, teratogenní, karcinogenní a estrogenní. Plísně poznáme mnohdy podle jejich zápachu, který způsobují těkavé organické látky, které mohou způsobovat bolest hlavy, poškození sliznic dýchacích cest, dráždit oči, v nose či dráždit pokožku. Zdravotní rizika z výskytu plísní záleží na délce expozice, stavu imunitního systému uživatele bytu a druhu plísně. [109, int 15, int 29].

U plísní se doporučuje nejprve odběr vzorků a rodová a druhová identifikace, dále pak chemická sanace a poté odstranění např. napadené malby či omítky. Poté je nutné zkontrolovat účinnost dezinfekčního zásahu a především odstranit příčiny výskytu plísní [int 29, int 31]. Určení druhů plísní se provádí izolací ze vzduchu či z povrchů makroskopicky či mikroskopicky podle odborné literatury [int 29].

4. ZATEPLOVÁNÍ OBYTNÝCH BUDOV

Zateplování obytných budov bylo nejprve vyvoláno přirozenou potřebou majitelů bytového fondu snížit náklady na tepelnou energii v souvislosti s růstem cen energií po roce 1989. Roční náklady na dálkové vytápění (tak je vytápěna většina současné bytové panelové výstavby) pro průměrný byt v ČR se v roce 2014 zvýšily téměř 7 x ve srovnání s rokem 1991 [int 3]. Zateplování budov je v současné době realizováno v souladu s evropskou legislativou, která musí být vždy implementována do legislativ národních, tedy i do legislativy ČR. Jedná se o Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU o energetické účinnosti (známou jako směrnice 20-20-20). Ta přijala tři hlavní klimaticko – energetické závazky v rámci strategie „Evropa 2020“ ke splnění do roku 2020. Prvním z nich je snížení celkové emise

skleníkových plynů alespoň o 20 % oproti roku 1990. Druhým je redukce spotřeby energie v zemích EU také o 20 % a třetím závazkem je dosažení 20 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie. Plnění druhého kritéria – zvýšení energetické účinnosti za účelem dosažení cíle snížení spotřeby energie v sobě zahrnuje i energetickou účinnost vytápění. Ta se skládá ze tří složek – z energetické účinnosti při výrobě tepla, z energetické účinnosti při distribuci tepla (v případě je-li teplo dodáváno z centrálního zdroje) a z energetické účinnosti při předávání tepla do vytápěných prostor [int 8].

Výše uvedená evropská směrnice uložila členským státům EU celou řadu povinností, včetně povinnosti implementovat tuto úpravu do národních právních řádů. Stalo se tak opakovanou novelizací zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. Jednou z řady změn je například navrhování všech nových budov „s téměř nulovou spotřebou energie“ do konce roku 2020 anebo povinné posuzování možnosti využití systému dodávek energie z obnovitelných zdrojů u nových staveb [149]. Energetická účinnost při předávání tepla do vytápěných prostor je ovlivněna zejména zateplením fasády objektů nebo výměnou oken (tepelně technickými vlastnostmi konstrukce obálky budovy). Tyto investice probíhají v rámci revitalizace a obnovy stávající panelové výstavby. Po sanaci konstrukce dané panelové soustavy se přistupuje k zateplení vnější obálky budovy, tzn. aplikaci kontaktního zateplovacího systému. V současnosti se nejběžněji používá expandovaný polystyren a minerální vlna. Tloušťka tepelné izolace musí být navržena tak, aby splnila požadavky současných platných norem, tedy aby bylo po zateplení objektu dosaženo doporučených hodnot součinitele prostupu tepla. Na obvodové zdivo se přidává tepelná izolace o tloušťce 9 – 14 cm [int 27]. Doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla musí mít i výplně otvorů zdí, tzn. okna a dveře. Zde se realizuje výměna původních dřevěných oken a dveří za plastová s vícekomorovými rámy a dvoj nebo trojskly. Tato plastová okna mají nízký součinitel prostupu tepla, splňují požadavky na zvukovou izolaci, ale mají i nízkou průvzdušnost.

Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií rovněž umožňuje prostřednictvím státního programu na podporu úspor energie poskytovat dotace ze státního rozpočtu. Obecně je zateplování podporováno z různých dotačních programů, některé již proběhly, jiné v současné době probíhají. Jedná se např. o program Ministerstva životního prostředí administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR, který je zaměřen na podporu opatření ke snížení energetické náročnosti budov, na podporu efektivního využívání zdrojů energie v obytných domech a na podporu výstavby budov s velmi nízkou energetickou náročností (v současné době probíhá 3. výzva v programu „Nová zelená úsporám“). Finanční prostředky jsou

alokovány z výtěžku emisních povolenek [121]. Další důležitá podpora přichází z EU. Z evropských strukturálních a investičních fondů je financována další etapa „Operačního programu Životní prostředí“ pro období 2014 – 2020. Tento program je členěn do 6 prioritních os. Každá osa se dále dělí na specifické cíle, které vymezují typy podporovaných projektů. Prioritní osa 5. Energetické úspory podporuje v současné době v sekci 5.1 snížení energetické náročnosti veřejných budov a zvýšení využití obnovitelných zdrojů energie. Celá problematika je rovněž dostatečně a kvalitně zpracována a medializována. Proto proces zateplování/renovace stávajících budov uspokojivě probíhá, realizují se obrovské investice v objemu desítek miliard korun a dochází i k cílenému snižování produkce tepla pro vytápění [77].

Současný tlak EU na zvyšování účinnosti užití energie a snižování energetické náročnosti vede k tomu, že v případě výstavby nové budovy bude stavebník povinen splnit požadavky na energetickou náročnost budovy „s téměř nulovou spotřebou energie“, a to v případě budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1 500 m² od 1. ledna 2018, v případě budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 350 m² od 1. ledna 2019 a v případě budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 350 m² od 1. ledna 2020 [148]. Aby tyto nové budovy splnily požadavky na energetickou náročnost budovy, bude muset být, na rozdíl od zateplování stávající panelové výstavby/domů, řešena i vzduchotechnika. V současnosti dosahuje vzduchotěsnost nových i zateplováných staveb takových parametrů, že přirozené větrání infiltrací není funkční. Zateplením a utěsněním obálky budovy vzniká problém tzv. nedostatečného větrání, který se projevuje např. zhoršenou kvalitou IAQ a zvýšenou vlhkostí uvnitř budov. Jediné řešení je často a intenzivně větrat. Tím uniká značné množství tepelné energie, což je v rozporu s požadavky na energetickou náročnost budov. U nových budov bude proto muset být větrání řešeno moderními vzduchotechnickými/větracími systémy s rekuperací tepla. Tyto systémy jsou určeny pro řízené větrání s teplovzdušným vytápěním. Vzduch znečištěný CO₂, chemickými výpary, choroboplodnými zárodky, vlhkostí a pachy je odsávaný z obytných prostor přes rekuperační výměník, kde odevzdá teplo a je odveden do venkovního prostředí. Čerstvý venkovní filtrovaný vzduch získává teplo v rekuperačním výměníku s vysokou účinností a je řízeně přiváděn do obytných prostor [111].

Panelová výstavba byla skončena přibližně v roce 1992. Počet panelových bytových domů v ČR dosahuje téměř 200 000 s cca 1,2 miliony bytů. To je zhruba 55 % všech bytů v bytových domech a cca 30 % bytů celého bytového fondu ČR. Celková spotřeba energie

v budovách v ČR činí cca 30 % celkové konečné spotřeby energie ČR. Energie na vytápění činí cca 60 % z celkové spotřeby energie v budovách pro bydlení. To jsou důvody pro takový tlak na zateplování stávajících nejen bytových domů, ale i rodinných. Z celkového počtu stávajících budov pro bydlení (panelové a nepanelové bytové domy i rodinné domy) je v současné době zatepleno cca 50 %. Jedná se o počet budov, který nebyl od samotného počátku stavěn jako energeticky úsporný. Výměna oken byla provedena u podstatně většího počtu budov, než u kterého bylo provedeno kompletní zateplení obálky budovy [int 11].

5. LEGISLATIVA V OBLASTI OCHRANY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

V době, kdy se užívalo lokální vytápění pevnými palivy, nejčastěji např. dřevem či hnědým nebo černým uhlím, byla intenzita větrání budov mnohonásobně větší, až 10x ve srovnání se současností [123]. Pro spalování v kamnech či pecích v obytném prostoru bylo potřeba dostatek spalovacího vzduchu, který proudil celým domem a zajišťoval tak kromě funkce spalovacího vzduchu také provětrávání celého vnitřního prostředí. Škodliviny vznikající uvnitř domu (vlhkost, produkovaný CO₂ apod.) tak byly odváděny ven. S přechodem na ústřední vytápění se intenzita větrání snížila [int 32] a došlo tak ke snížení kvality vnitřního prostředí. Za zajištění adekvátní kvality prostředí v obytných prostorech je zodpovědný každý sám. Konkrétně vnitřní ovzduší bytů je legislativně takřka neřešeno, či jen náznakově. Co se týká měření kvality vnitřního ovzduší, uvádí pan RNDr. Kotlík ze Státního zdravotního ústavu, že má pouze dvě roviny a to dozorovou rovinu – plnění vyhlášky MZ ČR 6/2003 Sb., respektive NV 361/2007 Sb. a stavební vyhlášky 20/2012 Sb., které jsou prováděny podle požadavků OOVZ – Krajských hygienických stanic a rovinu komerční. Bytové prostory sem však nespádají a jako takové nejsou limitovány žádnou zákonnou normou, takže se dá říci, že “propadají sítím legislativy” a jsou tedy mimo primární zájem OOVZ [105]. Požadavky na obytné prostory jsou částečně definovány pouze v zákonu 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů ve znění pozdějších předpisů [147], dále pak ve vyhláškách a nařízeních k zákonu, např. vyhláška č. 6/2003 Sb., stanovuje hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností [130] a také ve vyhlášce č. 20/2012Sb., o technických požadavcích na stavby [131]. Podle vyhlášky č. 20/2012 Sb. je pobytová místnost místnost nebo prostor, které svou polohou, velikostí a stavebním uspořádáním splňují požadavky k tomu, aby se v nich zdržovaly osoby. Stavba musí být navržena a provedena tak, aby neohrožovala život a zdraví osob nebo zvířat, bezpečnost, zdravé životní podmínky jejích uživatelů ani uživatelů okolních staveb a aby neohrožovala životní prostředí nad limity obsažené v jiných právních předpisech [131]. Vyhláška také uvádí množství

vyměňovaného venkovního vzduchu v době pobytu lidí, které je uváděno jako 25 m³/hod na osobu nebo jako výměna vzduchu v místnosti nejméně jedenkrát za dvě hodiny, tedy jako 0,5 h⁻¹. V této vyhlášce je zmíněná maximální přípustná koncentrace oxidu uhličitého, která byla ve starším znění vyhlášky 1000 ppm a nyní je 1500 ppm. Tato koncentrace slouží jako ukazatel intenzity a kvality vnitřního ovzduší. Limit 1500 ppm je v literatuře uváděn jako maximální doporučená úroveň CO₂ ve vnitřních prostorách budov, která již u citlivějších jedinců může způsobovat příznaky únavy, ztrátu koncentrace, ospalost apod. Všechny uvedené hodnoty, ať již minimálního množství vzduchu nebo maximální koncentrace oxidu uhličitého, platí pro všechny druhy staveb [131]. Požadavky a postupy při zjišťování kvality prostředí jsou také uvedeny v revidovaných evropských normách značených jako ČSN EN ISO. Existuje několik různých norem pro analýzu použitelnou pro stanovení látek ve vnitřním ovzduší, tj. ovzduší pobytových místností a norem pro analýzu emisí z materiálů, používaných v pobytových místnostech. Mezi ně patří např. ČSN EN 50194 (37 8370) Elektrická zařízení pro detekci hořlavých plynů v obytných budovách, ČSN EN 50291 (37 8372) Elektrická zařízení pro detekci oxidu uhelnatého v obytných budovách, ČSN EN 717 (49 0163) Desky ze dřeva - stanovení úniku formaldehydu, ČSN EN 13999 (66 8589) Lepidla - Krátkodobá metoda měření emisních vlastností lepidel z nízkým obsahem rozpouštědel nebo bezrozpouštědlových lepidel po nanesení atd. [int 8]. Obytné místnosti také musí mít zajištěné dostatečné větrání venkovním vzduchem a vytápění v souladu s normovanými hodnotami ČSN EN 15 665/Z1 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov.

Co se týká IAQ, tak k té se konkrétně vztahuje norma ČSN EN 14412 Kvalita vnitřního ovzduší, kde je vnitřní ovzduší definováno jako: ovzduší ve vnitřním prostoru, tj. budovy mající obývací pokoje, ložnice, místnosti pro kutilské práce, místnosti pro odpočinek a sklepní místnosti, kuchyně a koupelny; dílny nebo pracovní prostory v budovách, které nejsou předmětem dohledu bezpečnosti práce a ochrany zdraví vzhledem k obsahu látek znečišťujících ovzduší (např. kanceláře, prodejny); veřejné budovy (např. nemocnice, školy, mateřské školy, sportovní haly, knihovny, restaurace a bary, divadla, kina a další funkční místnosti) a rovněž kabiny vozidel [92, int 8]. Dále se pak k vnitřnímu ovzduší vztahuje norma ČSN EN ISO 16017-1 (83 5741) Vnitřní, venkovní a pracovní ovzduší. A dále pak norma ČSN EN ISO 16000 (83 5801) Vnitřní ovzduší, která se skládá z 12 částí, z nichž se např. 1. část zabývá Obecným hlediskem odběru vzorků, 8. část se zabývá Měřením rychlosti výměny vzduchu a 16. a 17. část Odhalením a sčítáním plísní [int 8]. V naší legislativě by se

měly objevit alespoň doporučené cílené hodnoty. Do budoucna je tedy nutné vytvořit doporučení a směrnice pro nápravná opatření v obytných budovách!

Legislativa veřejných budov, škol a pracovišť je na rozdíl od našich domovů dobře ošetřena. Posuzování oxidu uhličitého v interiéru je dle platných předpisů v ČR určeno nařízením vlády č. 93/2012 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. V tomto nařízení je uvedeno minimální množství přiváděného čerstvého vzduchu podle určitých parametrů, nikoliv však konkrétní koncentrace oxidu uhličitého. Tento předpis určuje, že na pracovišti musí být k ochraně zdraví zaměstnance zajištěna dostatečná výměna vzduchu přirozeným, nuceným nebo kombinovaným větráním. Nucené nebo kombinované větrání musí být použito vždy, pokud přirozené větrání prokazatelně nepostačuje k celoročnímu zajištění ochrany zdraví zaměstnance. Maximální přípustná koncentrace oxidu uhličitého v interiéru v tomto nařízení zmíněna není [83, 123]. V zákoně č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví je uvedeno, že musí být splněny mikroklimatické podmínky v základních, středních, předškolních a školských zařízeních. Dále jsou provozovatelé budov povinni zajistit vnitřní prostředí pobytových místností v těchto stavbách tak, aby odpovídaly hygienickým limitům daných vyhláškou č. 6/2003 Sb., která stanovuje hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) také upravuje odvětrání budov [123].

Problém s IAQ řeší různé politické a organizační instituce zabývající se veřejným zdravím a životním prostředím. Tyto instituce se snaží najít vhodnou strategii, která by vedla k zajištění dobré IAQ. V rámci Evropské unie upravuje kvalitu vnitřního ovzduší směrnice EUR 14449 EN, 1992 Indoor air quality & its impact on man. V rámci EU také vycházejí reporty a report č. 11 se zabývá právě větráním v budovách – Ventilation Requirements in Buildings [123]. Evropská komise přijala Akční plán zdraví a životního prostředí na období 2004 – 2010 v rámci Evropské strategie zdraví a životního prostředí. V rámci tohoto plánu bylo vytyčeno 13 bodů, a právě 12. bod se zabýval zlepšením vnitřního ovzduší. Také existuje Akční plán životního prostředí v rámci EU zavádějící politiku čistého ovzduší. Na národní úrovni existuje v ČR od roku 1998 NEHAP ČR neboli Národní akční plán zdraví a životního prostředí. V rámci EU a WHO proběhlo v minulosti několik projektů zabývajících se monitorováním vnitřního ovzduší: AIRMEX (Monitorování vnitřního ovzduší v Evropě a vyhodnocení jeho účinkům), THADE (Směrem ke zdravému ovzduší v obydlích v Evropě), EU – INDEX (Kritický odhad nastavení a implementace limitů vystavení vnitřnímu prostředí v EU), či PILOT INDOOR MONIT [29]. Směrnice o kvalitě ovzduší vydala také WHO např.

Air Quality Guidelines for Europe či Air Quality Guidelines Global Update [29]. Směrnice WHO říká, že čistý vzduch je základním předpokladem pro život a cílem směrnice je chránit veřejné zdraví před špatným vnitřním ovzduším a omezit vystavení negativním účinkům nebezpečných látek. Parmská deklarace WHO v Evropě (WHO Parma Declaration on Environment and Health, 2010) vybízí ke zlepšení prostředí ve kterém žijeme. V Evropě také vzniká řada projektů týkajících se špatné kvality IAQ pracovišť a škol [29]. V evropských školách studuje více než 64 milionů dětí, které právě kromě domova tráví nejvíce času ve škole. Tímto problémem se zabývá např. projekt SINPHONIE, který zavedl vědecko – technickou síť, která v dlouhodobém měřítku zkoumá kvalitu vnitřního ovzduší škol a snaží se navrhnout možná opatření k jejímu zlepšení na úrovni celé EU. Tento projekt je financován Evropským parlamentem a jeho cílem je vypracovat metody a postupy pro vedení průzkumů a kontrol při monitorování a zlepšování vnitřního ovzduší [29]. V rámci tohoto projektu se přišlo na to, že hodnoty CO₂ ve školách přesahují hodnotu 1000 ppm a většina tříd měla hodnoty CO₂ přesahující 1500 ppm, kdy se udává, že tato koncentrace může způsobit sníženou pozornost a vnímání studentů.

Světově známý je standard ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Jedná se o globální společnost, zaměřující se na stavební systémy, energetickou účinnost, kvalitu vnitřního ovzduší, chlazení a dlouhodobou udržitelnost v tomto odvětví. Prostřednictvím výzkumu, psaní norem, publikování a vzdělávání se ASHRAE snaží o zlepšení a optimalizaci vytápění, větrání, klimatizace a chlazení spolu s podporou udržitelného rozvoje. Podle ASHRAE je koncentrace CO₂ 1000 ppm informační koncentrací, která udává pomyslnou mez mezi přiměřenou (vhodnou) a nepřiměřenou (nevhodnou) ventilací [6]. Podle ASHRAE by relativní vlhkost vzduchu měla být 30 – 60%, protože méně jak 30% je příliš nízká a naopak více než 60% může vest ke vzniku plísní. ASHRAE uvádí minimální požadavek na větrání 0,35 h⁻¹ [6, 102].

V jiných státech také existují požadavky na IAQ dle norem. Ve Finsku požaduje norma maximální koncentraci CO₂ jako venkovní koncentraci + 1500 ppm a při kontrolovaném větrání + 800 ppm. V Dánsku není určena maximální koncentrace CO₂, ale požadavky na větrání jsou určeny minimální intenzitou větrání 0,5 h⁻¹ v každé místnosti. V Německu jsou požadavky na koncentraci CO₂ 1000 ppm a intenzitu větrání 0,17 – 0,5 h⁻¹, v Itálii norma také určuje minimální intenzitu větrání jako 0,5 h⁻¹, stejně tak je tomu i v Norsku, kde ještě k tomu norma požaduje maximální koncentraci CO₂ 1000 ppm. V Polsku není požadavek na maximální koncentraci CO₂, ale na minimální intenzitu větrání ano a to 1 h⁻¹. V Estonsku je maximální koncentrace CO₂ 1000 – 1500 ppm. V ČR platí norma ČSN

73 0540, která uvádí intenzitu větrání mezi $0,3 - 0,6 \text{ h}^{-1}$ a norma ČSN 06 0210, která uvádí $0,5 \text{ h}^{-1}$ a také podle vyhlášky č. 20/2012 Sb. je maximální přípustná koncentrace oxidu uhličitého 1500 ppm. Požadavky dle norem jsou tedy i v jiných Evropských státech srovnatelné [149].

6. METODIKA

6.1 Studovaná lokalita

Studovanou lokalitou je sídlištní panelová zástavba ve městě Sezimovo Ústí. V této lokalitě se nacházejí domy s původními dřevěnými i plastovými okny, proto byla vhodným místem pro uskutečnění měření. Část města Sezimovo Ústí značenou II (obr. 12), zásobuje tepelnou energií (dále jen „TE“) společnost ENERGOINVEST, a. s., která provozuje systém CZT. Je nositelem příslušné licence na rozvod tepelné energie, tzn., že prostřednictvím svého systému tepelnou energii rozvádí k jednotlivým odběratelům, zákazníkům. Tepelnou energii nakupuje z teplárenského zdroje spalujícího tuzemské hnědé uhlí. Provozované zařízení je poměrně moderní, protože dříve rekonstruovaná část pochází z let 1995 – 1998. Nakupovanou teplonosnou látkou byla tehdy pára a zbylá, nerekonstruovaná část systému, byla v technologicky zastaralém provedení. Průměrné roční ztráty mezi nakupovanou a prodávanou tepelnou energií byly v tomto období vyšší než 30 %. V roce 2001 byla tato nerekonstruovaná část systému vytápění nahrazena moderním dvoutrubkovým rozvodem tepla s domovními stanicemi u každého odběratele a realizací zcela nové technologie v hlavní horkovodní stanici. Byla tak dokončena náhrada parních rozvodů za horkovodní a teplovodní. Na podzim roku 2015 byla hlavní horkovodní stanice vyřazena z provozu, protože dodavatel tepelné energie změnil teplonosné médium, jehož parametry již nemusí být upravovány. Účinnost celého systému klesá zejména v letním a přechodném období. Je to způsobeno výrazným poklesem odběrů tepelné energie (viz tabulka IX), který je důsledkem postupných racionalizačních opatření u zákazníků (instalace termoregulačních ventilů na radiátorech, vyvážení otopných soustav v některých objektech, postupná výměna oken a zateplení fasád). Zákaznickou strukturu lze rozdělit přibližně 80% bytová sféra a 20% nebytová. Celý systém má být dále modernizován a to ve dvou oblastech, v oblasti měření a regulace a v oblasti dalších úspor nakupované tepelné a elektrické energie [energetický audit]. Hranice vytápěné oblasti zobrazuje obr. 13.



Obr. 12: Sezimovo Ústí [int 13]



Obr. 13: Část Sezimova Ústí vytápěná CZT [int 13]

6.2 Ověření správnosti a přesnosti měření přístrojů

Před vlastním měřením v Sezimově Ústí bylo nutné ověřit správnost a přesnost měření používaných přístrojů Telaire 7001. Proto byly přístroje Telaire 7001 porovnány s kalibrovaným čidlem Vaisala (model GM70) v Ústavu techniky prostředí na Fakultě strojní ČVUT v Praze. Měření na ČVUT probíhalo po dobu tří dnů od 13.4. do 16.4. 2015. Během této doby byla zapnuta dvě čidla Vaisala a souběžně s nimi i všech šest přístrojů Telaire 7001, viz obr. 14. a 15. Všechny přístroje byly spuštěny ve stejnou dobu a zaznamenávaly kontinuálně do svých dataloggerů údaje o koncentraci CO_2 v pětiminutových intervalech. Ze tří denního měření bylo vybráno pro každý přístroj 785 dat. Během těchto tří dnů probíhaly v místnosti dvě zasedání, první v počtu 7 osob trvající 90 minut a druhé v počtu 12 osob trvající tři hodiny a v místnosti se též během měření větralo. Bylo nutné, aby koncentrace CO_2 nabývaly hodnot v širším měřítku, aby se ověřilo, zda přístroje měří správně při různých koncentracích.



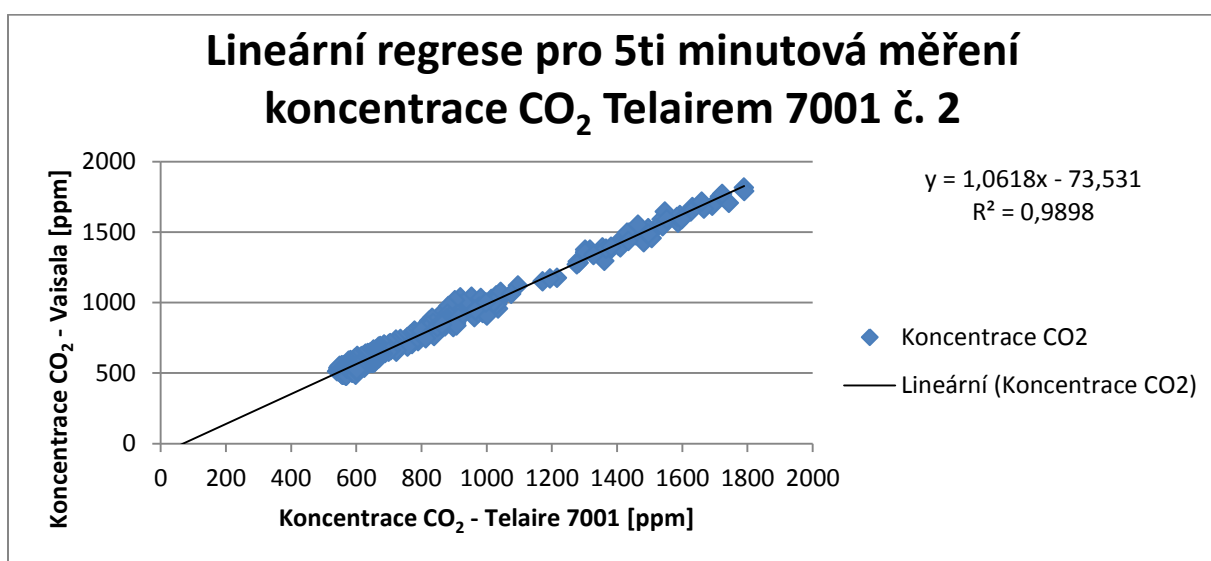
Obr 14: Přístroje Telaire 7001 při kontrolním měření na ČVUT ve dnech 13. – 16.4.2015



Obr 15: Přístroje Telaire 7001 a dvě čidla Vaisala (vlevo umístěná v krabici) při kontrolním měření na ČVUT ve dnech 13. – 16.4.2015

Nejprve byl vypočítán průměr z naměřených hodnot obou dvou čidel Vaisala a poté byly s těmito hodnotami porovnány naměřené hodnoty všech šesti přístrojů Telaire 7001. Zkalibrované čidlo Vaisala bylo zvoleno jako referenční a k jeho naměřeným datům byla vztažena data všech přístrojů Telaire 7001. K přepočtům hodnot koncentrace CO₂ byla použita lineární regrese, podle které je koncentrace y naměřená referenčním přístrojem rovna koncentraci x naměřené přístrojem Telaire 7001. Hodnota spolehlivosti se pohybovala v rozmezí $R^2 = 0,98 - 0,99$. V programu Excel byly vygenerovány rovnice lineární regrese

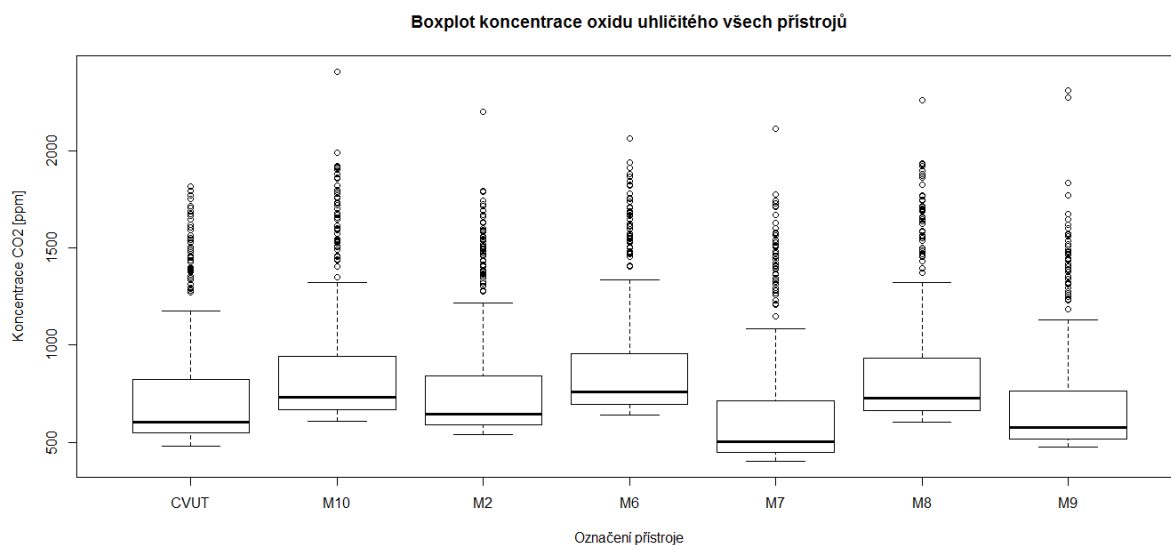
(obr. 16) mezi čidlem Vaisala a jednotlivými přístroji Telaire 7001, tyto rovnice a hodnoty spolehlivosti R^2 jsou uvedeny v tabulce III. Spojnice trendu je nejpřesnější, když její hodnota spolehlivosti R^2 se blíží nebo je rovna 1. Na obr. 17. je zobrazen krabicový graf (boxplot) 785 vybraných hodnot, kterých koncentrace oxidu uhličitého nabývala během třídenního měření. Na krabicovém grafu značí tlustá střední příčka medián a horní a dolní příčky maximum a minimum, body jsou označeny odlehlé hodnoty a poloha horní či spodní hrany krabice je 1. a 3. kvartil rozdělení dat. Na obr. 18 je zobrazen krabicový graf rozdílů koncentrace CO_2 všech přístrojů.



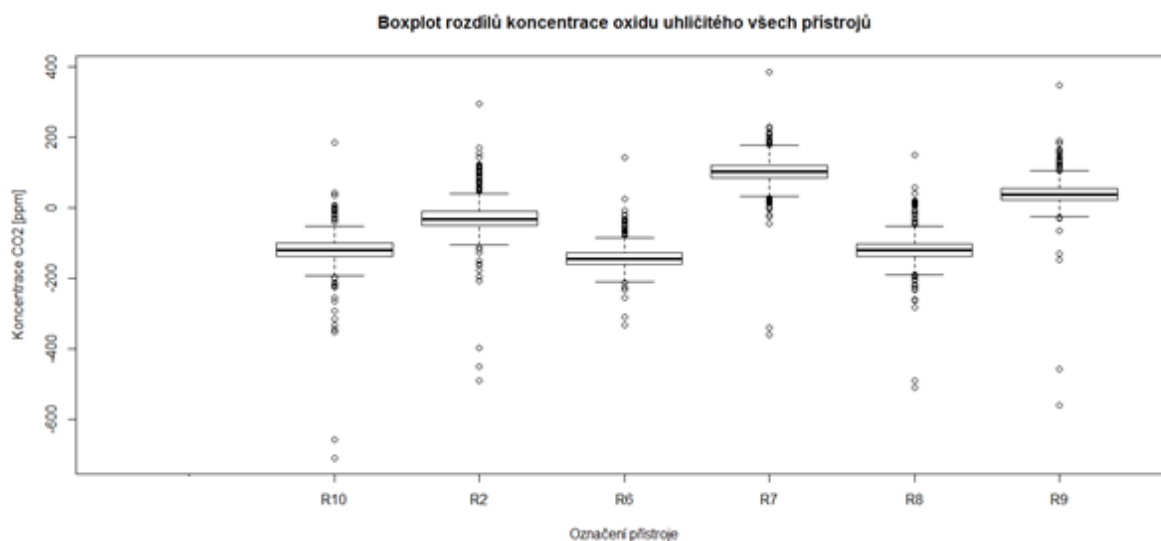
Obr. 16: Graf lineární regrese měření 5ti minutové koncentrace CO_2 ($n = 785$) mezi přístrojem Vaisala a Tellairem 7001 č. 2

Tab. III: Hodnota spolehlivosti R^2 a rovnice lineární regrese mezi přístrojem Vaisala a jednotlivými přístroji Telaire 7001

Číslo přístroje	R^2	Rovnice lineární regrese
2	0,99	$y = 1,0618x - 73,531$
6	0,99	$y = 1,0155x - 154,95$
7	0,98	$y = 0,9558x + 127,68$
8	0,98	$y = 0,9758x - 98,334$
9	0,99	$y = 1,0577x + 4,3259$
10	0,98	$y = 0,9723x - 95,031$



Obr. 17: Krabicový graf koncentrace CO₂ všech přístrojů (značení: CVUT – čidlo Vaisala, M2 – M10 – čidla Telaire 7001)



Obr. 18: Krabicový graf rozdílů koncentrace CO₂ všech přístrojů (značení: M2 – M10 – čidla Telaire 7001)

Po terénním měření, které probíhalo v období říjen 2015 – březen 2016 bylo ověřeno, zda přístroje po celou dobu měření měřily správně. Prokázalo se, že od ověření přesnosti na ČVUT až do konce experimentu nedošlo k významné změně měření. Ověření opět probíhalo po dobu tří dnů a to tak, že všechny přístroje Telaire 7001 byly spuštěny společně a kontinuálně zaznamenávaly data v pětiminutových intervalech, za tyto tři dny měření bylo vybráno 850 hodnot. Telaire 7001 číslo 6 byl zvolen jako referenční. K jeho naměřeným

datům byla vztažena data ostatních přístrojů Telaire 7001. K přepočtům byla použita lineární regrese, podle které je koncentrace y naměřená referenčním přístrojem č. 6 rovna koncentraci x naměřené dalšími přístroji Telaire 7001. Hodnota spolehlivosti se pohybovala v rozmezí $R^2 = 0,99 - 1,00$.

Dále byl proveden výpočet celkové standardní chyby měření Ch (tab. IV) dle níže uvedených rovnic [49]:

$$S_{ex} = S_x * \sqrt{1 - r^2} * \sqrt{n/n - 2}$$

$$Ch = \sqrt{S_{ex}^2 + 50^2}$$

kde n je počet dvojic (Vaisala a jednotlivé přístroje), S_{ey} je standardní chyba regresní závislosti a S_x je odhad standardní směrodatné odchylky měřené hodnoty, chyba samotného přístroje Telaire 7001 je ± 50 ppm.

Tab. IV: Chyba přístrojů Telaire 7001

Číslo přístroje	Ch
2	63 ppm
6	63 ppm
7	76 ppm
8	76 ppm
9	63 ppm
10	77 ppm

6.3 Přístroje a metodika měření

6.3.1 Výběr vhodné metodiky

Měření koncentrace oxidu uhličitého se stalo velmi populární metodou pro určení intenzity výměny vzduchu v budovách. Měření intenzity větrání podle poklesu CO_2 je podle mnoha autorů výhodné hlavně z hlediska dostupnosti, malých nároků na vybavení, nízkých finančních nároků a hodí se do mnoha typů mikroprostředí, které fungují jako samostatné jednotky – např. byty či do izolovaných částí těchto jednotek – např. jednotlivých pokojů [3, 11, 67, 125, 144, 145, int 16]. Měření intenzity větrání pomocí poklesu vyprodukovaného oxidu uhličitého je jednoduché a levné oproti metodám využívajících tzv. stopovací plyn a tak se využívá v mnoha provedených studiích [8, 9, 72, 45, 81, 82, int 16]. Velikou výhodou

tohoto typu měření je, že se dá provést i za přítomnosti lidí v monitorovaném bytě. V budovách jsou hlavním zdrojem CO₂ právě lidé a vydechovaný vzduch obsahuje 4 – 5% CO₂ [71, 101] - toto množství záleží na aktivitě člověka. Oxid uhličitý může být použit k měření intenzity větrání pouze v případě, že je jeho koncentrace uvnitř vyšší než ve vnějším prostředí [98, 101].

Je známo mnoho studií, které se zabývaly měřením teploty, relativní vlhkosti a koncentrace CO₂. Takové studie v domácnostech provedli např. Lee et al., kteří měřili teplotu, relativní vlhkost a koncentraci CO₂ v několika bytech v Hong Kongu. Přístroj se snažili umístit co nejvíce do středu místnosti a zhruba 1,5 m nad podlahu a alespoň 1 m od potencionálních zdrojů CO₂ [69]. McGill et al. měřili teplotu, relativní vlhkost, koncentraci CO₂ a intenzitu větrání v ložnicích a obývacích pokojích 8 bytů. Obyvatelům domácností byl stejně tak, jako v rámci této práce, rozdán dotazník, do kterého zaznamenávali aktivity ovlivňující koncentraci CO₂, např. otevírání oken, kouření, vaření apod.. Přístroj byl v případě této studie umístěn 1,1 m nad podlahou dle ISO 16000 – 1. Měření probíhalo kontinuálně s intervalem měření 10 minut, během léta a zimy vždy po dobu tří týdnů [75]. Některé studie měřily koncentraci CO₂ naopak ve veřejných budovách, nejčastěji v kancelářích či školách. Např. Razali et al. měřili CO₂ ve školách po dobu 2 dnů (každý den po dobu 8 hodin) s intervalem záznamu 1 minuta. Přístroj na měření byl opět umístěn uprostřed místnosti a to 1 m nad podlahou [143]. Další měření ve školách provedli Turanjanin et al., kteří měřili ventilační rychlost pomocí poklesu CO₂ po dobu tří hodin bez přítomnosti žáků, přičemž přístroj na měření oxidu uhličitého zaznamenával data v intervalu 10 minut a byl umístěn asi 1,1 m nad podlahou, v dostatečné vzdálenosti od oken a dveří [125]. Podobnou metodu měření ventilační rychlosti skrze pokles metabolicky generovaný oxidu uhličitý (poté bez přítomnosti lidí) použili ve své studii i You et al. [144]. You et al. měřili CO₂ po dobu 2 – 5 dnů ve třídách, ubytovnách, zasedacích místnostech a bytech. Během této doby měřil přístroj kontinuálně koncentraci CO₂, teplotu a relativní vlhkost. Přístroj byl umístěn většinou uprostřed místnosti a to 1,5 m nad podlahu a 1,5 m daleko od oken, dveří, obyvatel a větráků, interval měření byl 10 vteřin až 1,5 minuty [145]. Lidé opět dostali dotazník, do kterého zaznamenávaly činnosti, které mohly změnit intenzitu větrání. Z naměřených hodnot byly vybrány takové úseky, kdy byl pokles CO₂ patrný a nenarušovaný, většinou se povedlo vybrat 2 – 5 takových úseků, ze kterých se exponenciální regresí vypočítala intenzita větrání [145]. Langer et al. také zvolily podobný způsob měření intenzity větrání s intervalem měření 5 minut, kdy byl přístroj umístěn opět uprostřed místnosti a obyvatelé byly informováni o tom, že se mají zdržet větrání během měření poklesu CO₂. V každé domácnosti byl pokles

monitorován v ložnici a bylo vybráno alespoň 5 poklesů (zejména během úplné nepřítomnosti obyvatel), které pak byly zprůměrovány [67]. Velice podobná metodika pro měření ventilační rychlosti, jako v této diplomové práci, byla použita také ve studii Bekö et al., kteří měřili CO₂ kontinuálně po dobu 2,5 dne, tedy po 2 noci. Měření probíhalo během noci v dětských ložnicích a to v intervalu 5 min od března do května a měřilo se od 21:00 do 7:00, načež k výpočtu intenzity větrání byly vybrány jen věrohodné úseky, kdy byl přesně znám počet lidí a podmínky v místnosti (otevírání oken a dveří apod.), které rodiče dětí zaznamenávaly do předepsaného dotazníku. Přístroje byly před použitím též porovnány s továrně zkalibrovaným čidlem při různých koncentracích a výsledky potom upraveny podle korekční křivky, jako v této diplomové práci [11].

Velice důležité je zajistit vhodné umístění přístroje a interval měření. V tomto případě jsem se řídila dosud provedenými studiemi. Ve většině studií se pro měření používá pouze jeden přístroj, což znamená, že právě tento jeden přístroj by měl reprezentovat průměrnou koncentraci CO₂ v místnosti. Umístění měřidla je tedy stěžejní pro správně a přesně provedené měření. Bulínska et al. se ve své studii snažili najít reprezentativní místo pro umístění přístroje v místnosti s jedním spícím člověkem a došli k závěru, že nejlepší je přístroj umístit právě doprostřed místnosti. Měření ventilační rychlosti vyžaduje homogenní koncentraci oxidu uhličitého, a proto většina studií doporučuje používat pouze jeden měřicí přístroj [24, 23, 72]. Koncentrace v místnosti však většinou není zcela homogenní, jak ukazují různé studie [8, 9, 72], vyšší koncentrace CO₂ se vyskytují ve výšce nad 1,8 m [8, 72]. Ke stejnému výsledku došli i Awbi et al., kteří zjistili vertikální stratifikaci CO₂ v místnosti s vyšší koncentrací ve vyšších částech místnosti a nižší koncentraci v nižších částech místnosti [72]. Také existuje mnoho studií, které se snažily namodelovat prostorové uspořádání koncentrace CO₂ v místnosti [21]. Přístroj by neměl zcela určitě být umístěn v blízkosti lidí, oken, dveří a topení. Podle Mahyuddin et al. je nejlepší přístroj umístit do výšky 1 – 1,2 m nad podlahu. Podle Bulínska et al. jsou nejlepší pro výpočet ventilační rychlosti právě noční hodiny, kdy se zvýší podstatně koncentrace CO₂ v důsledku dýchání spících osob, či během dne, kdy se v bytě nikdo nenachází. Během těchto dvou period je koncentrace oxidu uhličitého v místnosti téměř homogenní, v porovnání s koncentrací během dne, která výrazně fluktuje např. kvůli otevírání dveří a oken a v důsledku pohybu obyvatel bytu. Bulínska et al. ve své studii také navrhuje jako nejlepší řešení měření intenzity větrání provést měření CO₂ v místnosti s jednou spící osobou po dobu tří nocí [23]. V jejich studii zaznamenával přístroj data každou minutu (teplotu, relativní vlhkost a koncentraci CO₂). Před měřením je dle těchto autorů dobré místnost vyvětrat a poté na noc uzavřít okna a dveře. Měření v této studii

probíhalo každou noc alespoň po dobu tří hodin [23]. V zimě je pohyb vzduchu v místnosti ovlivněn zapnutým topením, kdy je vzduch ohříván topením a ochlazován na povrchu okna, což způsobuje přirozené proudění vzduchu v místnosti. Při zapnutém topení je vzduch tak lépe promícháván a podle studie Bulínska et al. jsou v místnosti s vypnutým topením vyšší koncentrace CO_2 , než kdyby topení bylo zapnuté. Z jejich studie tedy vyplývá, že nejlepší je měřicí přístroj umístit doprostřed místnosti tak, aby byl alespoň 1 m od zdroje oxidu uhličitého - tedy člověka, alespoň 1,5 m od okna a 40 cm od zdi. Nejreprezentativnější je dát přístroj do výšky 1,4 – 1,5 m nad podlahu, když je topení vypnuté a nebo 2,2 m nad podlahu, když je topení zapnuté. Pokud je okno otevřené v režimu tzv. mikroventilace, tak se vzduch pomalu promíchává, což způsobuje větší stratifikaci CO_2 v místnosti. Koncentraci CO_2 tedy ovlivňuje jak zapnuté topení, tak geometrie a otevření okna [23].

Podle Beka et al. intenzita větrání závisí na mnoha faktorech [12]: objemu místnosti (je vyšší v malých místnostech), počtu lidí spících v místnosti (vyšší s vyšším počtem lidí), otevření oken a dveří (vyšší při otevřených oknech a dveřích), umístění místnosti (vyšší ve vyšších patrech), venkovním počasí (rychlost a směr větru, rozdíl vnitřní a venkovní teploty apod.) a spoustě jiných faktorů, jako je výška budovy, úroveň netěsností v budově, typu větrání – přirozené x mechanické apod. [12, 143]. Dobrým indikátorem nedostatečné ventilace je kondenzace vodní páry na oknech např. v ložnici (čím více voda kondenzuje, tím je ventilační rychlost menší) [12]. Kondenzace páry na oknech v šíři 5 cm je podle několika studií ukazatelem snížené ventilační rychlosti a objevuje se především v zimě a častěji se vyskytuje v bytech než v rodinných domech [12, 13]. Podle studie Bekö et al. ve 473 ložnicích mělo během zimy zkondenzovanou páru na oknech širší než 5 cm 19% ložnic a užší než 5 cm 49% ložnic [11].

6.3.2 Popis metodiky

Měření koncentrace CO_2 uvnitř vybraných bytů bylo provedeno ve 44 bytech v Sezimově Ústí v období říjen 2015 – únor 2016. Přístroje byly nainstalovány postupně v jednotlivých dvojících bytů a měřily kontinuálně po dobu tří dnů/nocí. Měřilo se celkem v pěti různých budovách, viz obr. 19. Byty byly vybrány především podle ochoty lidí zúčastnit se měření a poté uspořádány do dvojic (s plastovými a dřevěnými okny) tak, aby byly co nejblíže u sebe, tedy buď rovnou vedle sebe na jednom patře, nebo ve dvou patrech přímo nad sebou. Nejtěžší bylo sehnat vhodné dvojice tak, aby lidé byli ochotni účastnit se třídního měření, zároveň aby dodržovali daný režim, a monitorované dvojice ložnic měly přibližně také stejný objem (plochu) a spal v nich stejný počet lidí. Najít byty podle těchto kritérií nebyl

tedy snadný úkol, ale byl to nutný krok k tomu, aby měření probíhalo ve dvojicích bytů za stejných podmínek a bylo porovnatelné. Měření probíhalo v každé domácnosti v ložnici, protože zde dochází k největší akumulaci CO₂ během spánku a lidé se zde chovají během spánku stejně. Interval měření přístrojů byl nastaven na 5 minut. Přístroj byl umístěn co nejvíce doprostřed místnosti alespoň 1 m nad podlahou tak, aby byl chráněn před poškozením a zároveň, aby byl alespoň 1 m od spících osob, oken, dveří, zdí a topení. Monitorované osobě/osobám byl v den instalace přístrojů předán dotazník, do kterého zaznamenávali důležité činnosti: hodinu, kdy šli do ložnice spát a zavřeli dveře, hodinu, kdy vstali a místnost opustili a hodinu, kdy do místnosti opět otevřeli dveře. Do dotazníku bylo zaznamenáno i větrání místnosti a jeho délka. Před ulehnutím ke spánku byla ložnice vždy na 5 minut vyvětrána oknem „na větračku“ (z důvodu chladnějšího počasí na podzim a v zimě se nevětralo plně otevřeným oknem). Všechny vybrané byty byly nekuřácké a bez domácích zvířat, v bytech nedocházelo ani k využívání zemního plynu k vaření, protože zemní plyn nebyl do budov ani zaveden. Před instalací měřících přístrojů byly z místnosti odneseny všechny květiny, které by mohly zkreslit průběh měření. Obyvatelé každého takto monitorovaného bytu také vyplnili dotazník, viz. příloha G, který zjišťoval, jak hodnotí kvalitu vnitřního prostředí v jejich domácnosti z hlediska výskytu plísní, zvýšené vlhkosti, a nutnosti častějšího větrání či pocitu vydýchaného vzduchu po výměně dřevěných oken za plastová.



Obr. 19: Budovy v Sezimově ústí, ve kterých se uskutečnilo měření CO₂ [int 13]

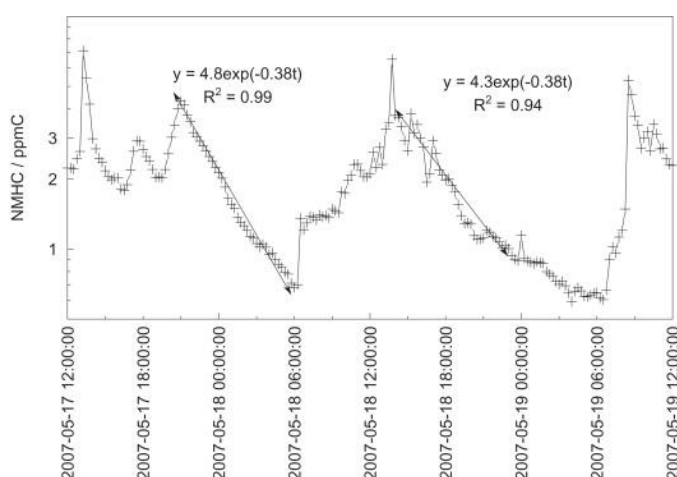
6.3.3 Měření intenzity větrání, koncentrace CO₂, relativní vlhkosti a teploty vzduchu

Hlavním předmětem zkoumání bylo, jak rychle koncentrace CO₂ v ložnici přirozeně klesá po odchodu lidí, a jakých maximálních a průměrných hodnot dosahuje během noci. Aby mohla být vypočítána intenzita větrání, bylo nutné, aby osoba/osoby spící v ložnici ihned po probuzení opustili a uzavřeli ji minimálně na 3 hodiny. Během této doby zaznamenával přístroj pozvolný pokles koncentrace CO₂. Přes noc spali všichni lidé se zavřenými dveřmi a okny. Dalším předmětem monitorování bylo zjistit, jakých nejvyšších hodnot dosahuje koncentrace CO₂ v ložnici během spánku a jaká je průměrná koncentrace CO₂ během spánku. Stejně jako CO₂ byla měřena teplota a relativní vlhkost vzduchu.

Výše zvolená metodika byla zvolena s ohledem na již proběhlé studie, které se zabývaly měřením intenzity větrání, koncentrace CO₂, teploty a relativní vlhkosti vzduchu (viz předchozí kapitola). Hovorka a Braniš [53] také provedli studii, která měřila ventilační rychlost, která byla vypočítána pomocí poklesu nemetanových uhlovodíků po dobu 7 – 9 hodin v období 5 dnů. V této diplomové práci byla intenzita větrání vypočítána obdobně a to jako lambda dle níže uvedené rovnice:

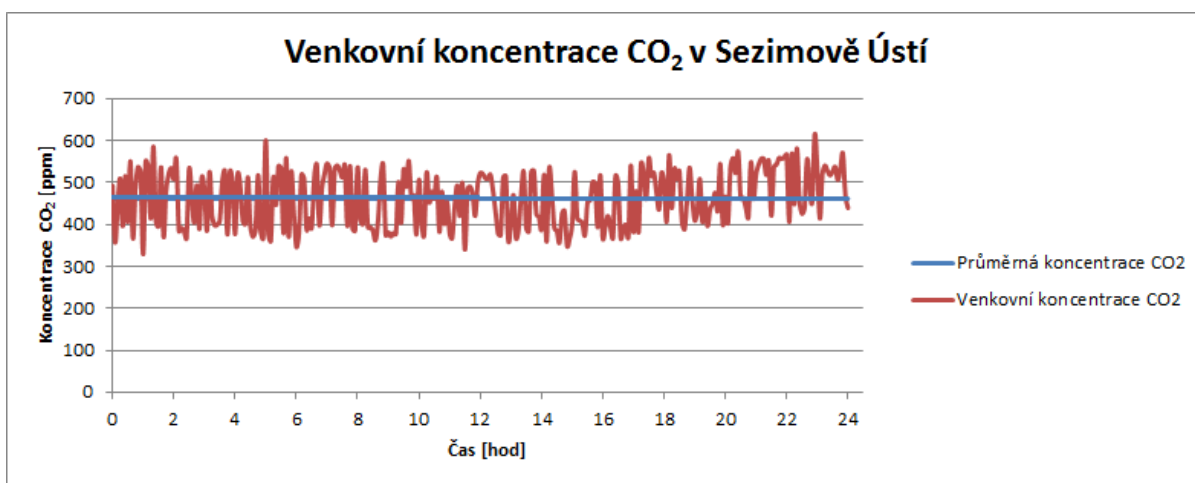
$$C_t^{\text{CO}_2} - C_{\text{OUT}}^{\text{CO}_2} = (C_0^{\text{CO}_2} - C_{\text{OUT}}^{\text{CO}_2}) \exp(-\lambda t)$$

kde t je čas, $C_0^{\text{CO}_2}$, $C_t^{\text{CO}_2}$ jsou koncentrace oxidu uhličitého na začátku, na konci měření a $C_{\text{OUT}}^{\text{CO}_2}$ je venkovní koncentrace CO₂. Lambda byla vypočítána pomocí exponenciální regrese, viz obr. 20.



Obr. 20: Koncentrace nemetanických uhlovodíků v hale jako funkce času, ukazující exponenciální pokles [53]

Venkovní CO₂ bylo měřeno v říjnu 2015 a v lednu 2015 v Sezimově Ústí vždy po dobu 24 hodin a poté byla vypočítána průměrná denní koncentrace CO₂. Přístroj byl umístěn na balkóně jednoho z bytů, kde probíhalo měření tak, aby byl co nejvíce v kontaktu s venkovním ovzduším a zároveň tak, aby nedošlo k jeho poškození, např. deštěm. V říjnu byla průměrná venkovní koncentrace CO₂ 430 ppm a v lednu byla průměrná koncentrace CO₂ 460 ppm (viz obr. 21). Pro výpočet intenzity větrání byla pro venkovní koncentraci použita hodnota 450 ppm. Monitorování CO₂ souběžně s měřením uvnitř bytů nebylo možné z důvodu omezeného počtu přístrojů a také kvůli nebezpečí poškození přístroje při dlouhodobém používání venku.



Obr. 21: Venkovní koncentrace CO₂ v Sezimově Ústí měřená v lednu 2016

V Příloze D je uvedena tabulka s informacemi o venkovní teplotě a relativní vlhkosti vzduchu a také o počasí během měření uvnitř ložnic. Údaje o průměrné denní teplotě byly získány od společnosti ENERGOINVEST, a. s.. Teploty jsou vypočítány dle vyhlášky 194/2007 Sb.. Průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu je čtvrtina součtu venkovních teplot měřených ve stínu s vyloučením vlivu sálání okolních ploch v 7:00, 14:00 a ve 21:00 hod., přičemž teplota měřená ve 21:00 hod. se počítá dvakrát. Relativní vlhkost byla získána ze záznamníku teploty a relativní vlhkosti S3120 umístěného na balkóně jednoho z bytů v průběhu celého období měření, údaje o počasí byly získány z ČHMÚ.

K měření vnitřních mikroklimatických podmínek – teploty, relativní vlhkosti vzduchu a koncentrace CO₂ byl použit přístroj Telaire 7001 s dataloggerem HOBO U - 12 či Voltage Recorder VR – 71. Přístroje s Voltage rekordery nedokážou zaznamenávat relativní vlhkost vzduchu, na rozdíl od dataloggerů HOBO, proto byly společně s přístroji, které využívaly jako datalogger Voltage Recorder ještě spuštěny záznamníky teploty a relativní vlhkosti S3120. Přístroj Telaire 7001 využívá k měření oxidu uhličitého čidlo absorpce infračerveného světla a měří s přesností ± 50 ppm či 5 % z naměřené hodnoty do 5000 ppm. Shrnutí

používaných měřicích přístrojů je uvedeno v tabulce V. Ukázka výstupu z dataloggerů HOBO U – 12 a VR – 71 je zobrazena v Příloze H a CH (obr H1 a CH1, tab. 7 a 8). Většina komerčně využívaných sensorů na měření CO₂ využívá absorpce IR, jedná se o formu optické plynové detekce, kdy vlnová délka pro detekci CO₂ je přibližně 4,2 – 4,3 μm. Detekce CO₂ je založena na Lambert – Beerově zákonu. Jako zdroj IR je používáno nejčastěji horké vlákno. Výhodou přístrojů využívajících absorpci IR je jejich nízká pořizovací cena [3].

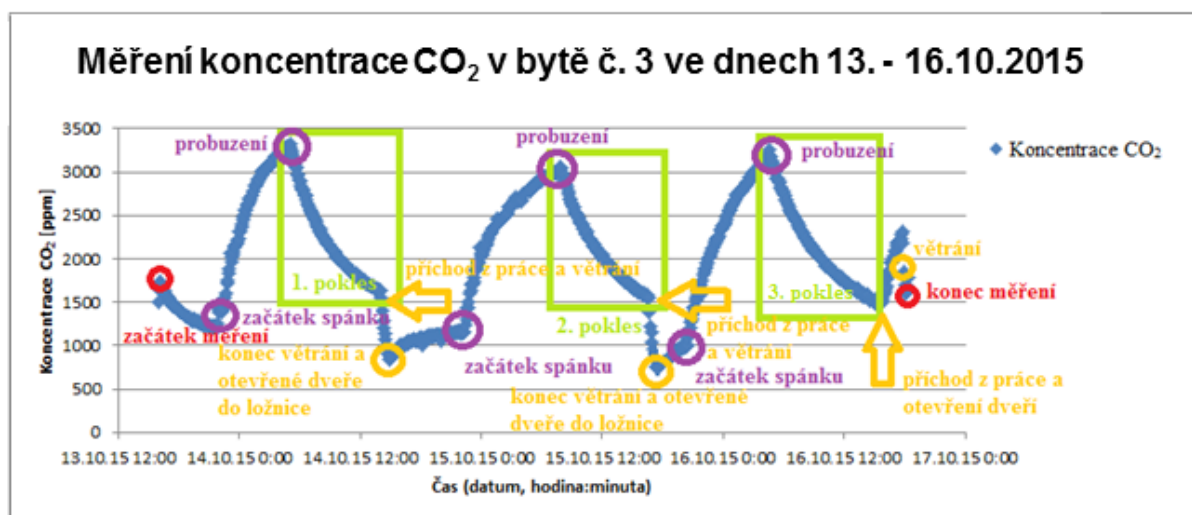
Tab. V: Měřicí přístroje používané pro měření v této diplomové práci

Přístroj	Měřená veličina	Přesnost měření	Rozsah měření	Rozlišení
Telaire 7001*	koncentrace CO ₂ , teplota	±50 ppm nebo 5% z hodnoty do 5000 ppm (nad 5000 není specifikováno); ±1 °C	0 – 4000 ppm; 0 – 40°C	1 ppm; 0,1°C
datalogger HOBO U – 12**	teplota, relativní vlhkost	±0,35 °C v rozsahu 0 – 50 °C; ±2,5 % v rozsahu 10 – 90 %	-20 až +70 °C; 5 – 95 %	0,33 °C; 0,03 %
datalogger Voltage Recorder VR – 71	pouze datalogger – CO ₂ , teplota	± 15 V, 0,5 % (10 – 30 °C)	0 – 50°C	1mV
záznamník teploty a relativní vlhkosti S3120	teplota, relativní vlhkost	± 0,4 °C; ± 2,5 % v rozsahu 5 – 95% při teplotě 23 °C	-30 až +70°C; 0 až 100 %	0,1 °C; 0,1%

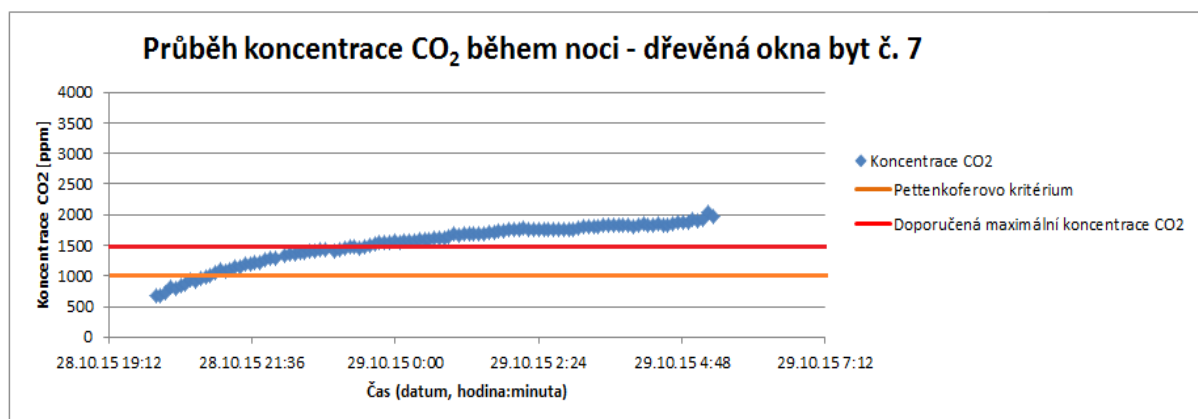
*doba odezvy pro CO₂ méně než 60 vteřin

** záznam koncentrace CO₂ pouze 0 – 2500 ppm, vhodné pro měření v ložnicích s dřevěnými okny

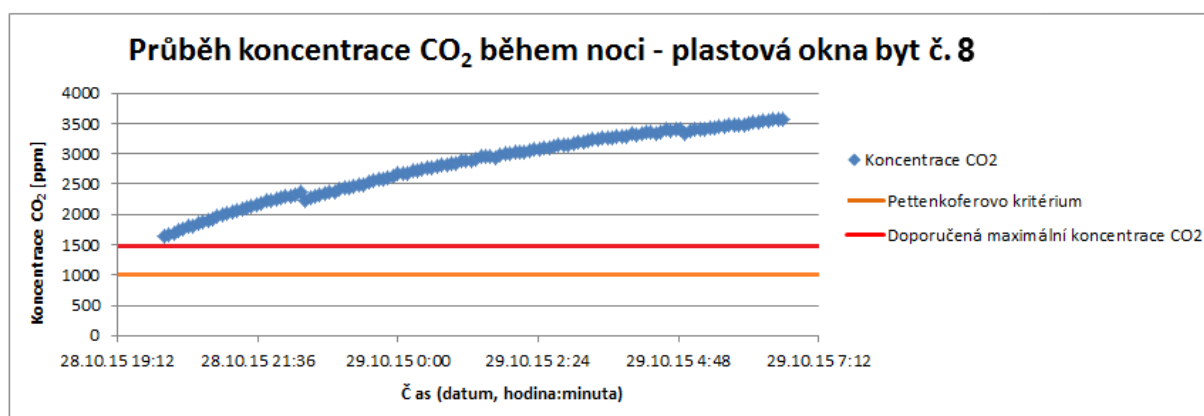
Intenzita větrání byla vypočítána z poklesu CO₂ v ložnici bez přítomnosti lidí. Pro výpočet intenzity větrání byl vždy vybrán tříhodinový úsek poklesu koncentrace CO₂. Na obr. 22 je znázorněn průběh jednoho celého měření v bytě č. 3 a jsou zde znázorněné jednotlivé poklesy a činnosti ovlivňující koncentraci CO₂ během dne. Pokles oxidu uhličitého byl vždy monitorován od chvíle, co obyvatelé ihned po probuzení (bez větrání!) opustili a uzavřeli místnost. Intenzita větrání byla spočítána z exponenciální regrese (regresní závislosti) poklesu koncentrace CO₂ v časovém úseku 3 hodin v programu Excel viz. obr. 25. Na obr. 23 a 24 je znázorněn nárůst koncentrace CO₂ během noci v důsledku dýchání spící osoby. Z těchto obr. je patrné, že měření CO₂ začínalo na jiné koncentraci v případě ložnic s dřevěnými a plastovými okny. Důvod je takový, že přes den jsou koncentrace CO₂ vyšší v bytech s plastovými okny a tak ani po 5ti minutovém větrání se koncentrace nevyrovná s koncentrací v ložnici s dřevěnými okny, ale pouze klesne.



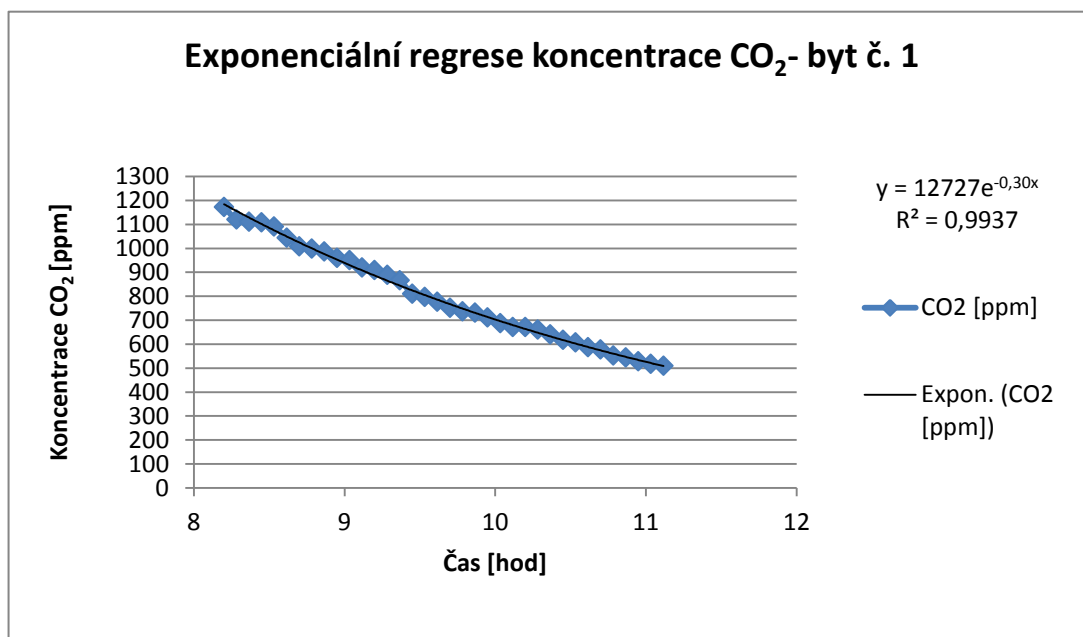
Obr. 22: Koncentrace CO₂ během tří denního měření v bytě č. 3 s plastovými okny



Obr. 23: Průběh koncentrace CO₂ během noci v ložnici s dřevěnými okny v bytě č. 7



Obr. 24: Průběh koncentrace CO₂ během noci v ložnici s plastovými okny v bytě č. 8



Obr. 25: Exponenciální regrese pro 5ti minutová data koncentrace CO₂ (n = 36) v ložnici v bytě č. 1 dne 13.10.2015

6.3.4 Popis studovaných bytů

Jednotlivé byty byly uspořádány do dvojic podle typu oken. Vždy byla porovnána dvojice bytů, kdy jeden byt měl plastová a druhý dřevěná okna a s podobným objemem (plochou) ložnic. Ve dvojicích ložnic vždy spal stejný počet lidí. Také byla snaha, aby byly byty umístěny co nejbližší k sobě, buď na stejném patře vedle sebe, nebo ve dvou patrech pod sebou. Majitelům bytů bylo slíbeno, že jejich byty a jména zůstanou anonymní a proto jsou v této práci byty očíslovány nikoliv podle skutečných čísel bytů, ale tak, jak chronologicky probíhalo měření v nich. V tabulce VI je uvedeno v jakém obytném podlaží se jednotlivé byty nacházely, jaký objem a typ oken mají studované ložnice a kolik lidí v ložnici spalo. Ulice, kde se jednotlivé byty nacházely není uvedena z důvodu anonymity.

Tab. VI: Informace o monitorovaných bytech – ložnicích v Sezimově Ústí

Dvojice	Č. bytu	Typ oken	Podlaží	Objem ložnice [m ³]	Počet lidí
I	1	dřevěná	1	25,6	2
	2	plastová	1	27,2	2
II	3	dřevěná	1	37,9	1
	4	plastová	2	37,9	1
III	5	dřevěná	2	34,8	1
	6	plastová	1	35,6	1
IV	7	dřevěná	2	35,7	1
	8	plastová	3	35,7	1
V	9	dřevěná	3	40,8	1
	10	plastová	2	40,8	1
VI	11	dřevěná	1	35,7	1
	12	plastová	1	35,7	1
VII	13	dřevěná	1	25,6	1
	14	plastová	2	25,6	1
VIII	15	dřevěná	2	34,8	1
	16	plastová	1	35,6	1
IX	17	dřevěná	2	30,3	2
	18	plastová	3	27,2	2
X	19	dřevěná	3	30,3	2
	20	plastová	3	27,2	2
XI	21	dřevěná	2	40,8	1
	22	plastová	1	40,8	1
XII	23	dřevěná	3	30,3	2
	24	plastová	2	31,5	2
XIII	25	dřevěná	2	39,5	1
	26	plastová	3	39,5	1
XIV	27	dřevěná	1	39,5	1
	28	plastová	2	39,5	1
XV	29	dřevěná	3	35,6	1
	30	plastová	3	35,6	1
XVI	31	dřevěná	2	34,8	1
	32	plastová	1	35,6	1
XVII	33	dřevěná	4	27,2	2
	34	plastová	4	27,2	2
XVIII	35	dřevěná	3	31,5	2
	36	plastová	3	31,5	2
XIX	37	dřevěná	4	35,7	1
	38	plastová	4	35,7	1
XX	39	dřevěná	3	35,7	1
	40	plastová	2	31,5	1
XXI	41	dřevěná	2	35,7	1
	42	plastová	2	35,7	1
XXII	43	dřevěná	2	35,7	1
	44	plastová	1	31,5	1

Svépomoc č. p. 656 a 657:

V okolí těchto domů se nenachází žádná vzrostlá zeleň, která by mohla monitorování ovlivnit. Ze strany ložnic se nachází zahrada s nízkou zelení a v okolí budov je komunikace, která je však využívána především místními obyvateli k příjezdu k jejich domovům, nejedná se tedy o frekventovanou silnici. Na obr. 26 a 27 jsou vyfotografovány domy, kde měření proběhlo. Jedná se o domy s nezateplenou fasádou a 4 NP – přízemí a 3 obytná podlaží.



Obr 26: Bytový dům v ulici Svépomoc 656



Obr. 27: Bytový dům v ulici Svépomoc 657

Svépomoc č. p. 670 a 671:

Mezi těmito domy se nachází vzrostlý strom, ten je však daleko od oken monitorovaných ložnic, proto nemá vliv na měření. Další vzrostlý strom se nachází naproti domu č. p. 670, avšak daleko od oken ložnic. Ze strany ložnic se nachází malá zahrádka

s nízkou zelení a v okolí budov se nachází komunikace, která je však využívána především místními obyvateli k příjezdu k jejich domovům, nejedná se tedy o frekventovanou silnici. Z druhé strany budov se nachází parčík s nízkou zelení a ojedinělými stromky. Na obr. 28 a 29 je vyfotografována budova, kde proběhlo monitorování koncentrace CO₂. Jedná se o nezateplené budovy s 5 NP – přízemí a 4 obytná podlaží.



Obr. 28 : Budova v ulici Svěpomoc 670



Obr. 29: Budova v ulici Svěpomoc 671

Lipová č. p. 603:

V okolí těchto bytů se nenachází žádná vzrostlá zeleň, která by mohla monitorování ovlivnit. Ze strany ložnice se nachází dvůr s nízkou zelení a v okolí budovy se nachází komunikace, která je však využívána především místními obyvateli k příjezdu k jejich domovům, nejedná se tedy o frekventovanou silnici. Na obr. 30 je vyfotografována budova,

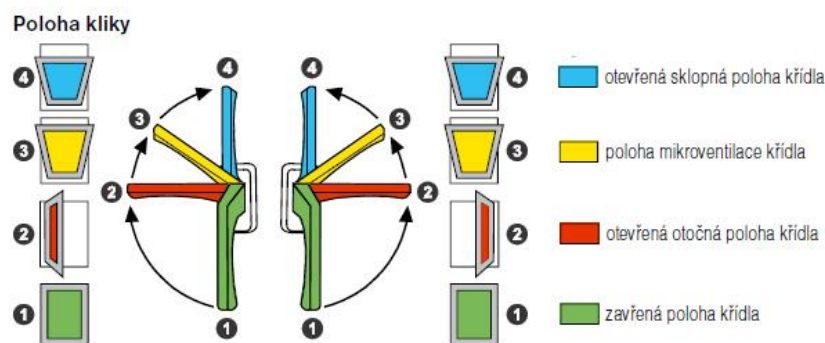
kde proběhlo monitorování koncentrace CO_2 . Jedná se o nezateplenou budovu se 4 NP – přízemí a 3 obytná podlaží.



Obr. 30 : Budova v ulici Lipová 603

6.3.5 Měření při režimu mikroventilace

V rámci této diplomové práce jsem se rozhodla také provést měření zkoumající vliv otevření oken v tzv. režimu mikroventilace, který je možné nastavit u nových plastových oken, na koncentraci CO_2 a intenzitu větrání. Nová plastová okna jsou v podstatě dokonale těsná a zamezují tak skoro úplně úniku tepla a vzduchu, což byl u původních dřevěných oken problém. K soustavnému úniku vzduchu dochází u starých dřevěných oken především vlivem netěsností v důsledku zdeformovaných a zastaralých okenních rámců. Zcela těsná okna nejsou pro zdravé vnitřní prostředí bytu nejlepším řešením. Mikroventilace je tedy jakýsi kompromis mezi tolik potřebnou ventilací a energetickými ztrátami. Moderní systémy okenních kování nám nabízejí možnost nastavit okenní křídlo do polohy, pro kterou se používá termín mikroventilace. Okenní křídlo je v režimu mikroventilace uzavřeno a zafixováno, avšak není zcela dotlačeno k okennímu rámu. Výhoda mikroventilace spočívá v tom, že i když obyvatelé bytů nejsou doma, je možno ponechat okna bezpečně uzavřená a zároveň zajistit částečné větrání místnosti. Největší výhodou oproti starým dřevěným oknům je, že si uživatelé sami zvolí, kdy chtějí okno úplně uzavřít a naopak kdy nastavit odvětrávání pomocí mikroventilace. Nutné je však nutně podotknout, že mikroventilace nedokáže nahradit hygienickou výměnu vzduchu [int 5]. Na obr. 31 jsou znázorněny jednotlivé polohy okenní kliky, které umožňují volit různou polohu okenního křídla.



Obr. 31: Poloha okenní kliky v závislosti na požadované ventilaci místnosti [int 5]

Otočením okenní kliky do polohy č. 3 dojde k vytvoření asi 3 mm štěrbinu mezi rámem a těsněním okenního křídla, okno se tak stává netěsné a štěrbina umožňuje výměnu vzduchu tzv. infiltrace. Toto větrání je možné v důsledku rozdílu hustoty studeného venkovního vzduchu a teplejšího vnitřního vzduchu uvnitř bytu. Intenzita infiltrace závisí na okolních podmínkách, např. rozdílu teplot, který čím je větší, tím rychlejší infiltrace je, dále také na větru, který čím rychlejší a intenzivnější je, tím více posiluje infiltraci vzduchu [int 5].

Výhody mikroventilace [int 17]

- Umožňuje alespoň částečné odvětrání bytu
- Při režimu mikroventilace nemusí uživatel pamatovat na zavírání a otevírání okna
- Nedochází k rychlému poklesu teploty uvnitř místnosti
- Umožňuje bezpečné odvětrávání místnosti i v nepřítomnosti obyvatel bytu
- Zamezuje částečně vzniku plísní v důsledku odvodu vlhkého teplého vzduchu ven z bytu

Nevýhody mikroventilace [int 17]

- V teplém období za bezvětrí nedochází k potřebné míře větrání
- Při větrném počasí a velkém rozdílu venkovní a vnitřní teploty dochází naopak k příliš intenzivnímu větrání
- Intenzita větrání není závislá na regulaci obyvateli bytu, ale na povětrnostních podmínkách

Měření rozdílu mezi plně uzavřeným oknem a oknem v režimu mikroventilace byla provedena v deseti vybraných bytech v Praze 13 – ulice Modrá 1977/2 a Modrá 1978/4. U všech bytů bylo měření provedeno po dobu tří dnů/nocí během března a dubna 2016. Měření nebylo provedeno v zimě z důvodu nízkých venkovních teplot, které by způsobily průnik

chladného vzduchu do ložnic v noci, což by mohlo obyvatele ohrozit na zdraví. Měření probíhalo souběžně vždy ve dvou ložnicích jednoho bytu po dobu tří dnů/nocí. V jedné ložnici obyvatelé spali se zavřenými okny i dveřmi a ve druhé ložnici se zavřenými dveřmi, ale okny v režimu mikroventilace. K měření byly opět použity přístroje Telaire 7001 a interval měření byl nastaven po pěti minutách, souběžně s měřením koncentrace CO₂ byla měřena i teplota a relativní vlhkost vzduchu. Umístění přístroje bylo totožné jako u předchozího měření v Sezimově Ústí. V tabulce VII jsou uvedeny parametry studovaných bytů a jednotlivých ložnic. Monitorované domy mají zateplenou fasádu a 13 NP – přízemí a 12 obytných podlaží. Všechny studované domácnosti byly nekuřácké, bez domácích zvířat a v domácnosti se nepoužíval zemní plyn k vaření. Před samotným měřením byly z místnosti odneseny všechny květiny, protože by mohly ovlivnit průběh měření. Obyvatelé těchto domácností dodržovali stejný režim jako v případě měření v Sezimově Ústí a všechny důležité činnosti zaznamenávali do připraveného dotazníku. V příloze F je uvedena tabulka s informacemi o venkovní teplotě a relativní vlhkosti vzduchu a také o počasí během měření. Tyto údaje byly získány ze záznamníku teploty a relativní vlhkosti S3120 umístěného na balkóně jednoho z bytů, kde probíhalo měření a údaje o počasí z ČHMÚ.

Tab. VII: Informace o monitorovaných ložnicích (M=mikroventilace, Z=zavřená okna)

Byt	Podlaží	Počet lidí	Režim větrání	Objem pokoje [m ³]	Typ oken
I	10	2	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová
II	9	2	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová
III	8	2	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová
IV	6	2	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová
V	3	1	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová
VI	10	1	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová
VII	9	1	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová
VIII	7	1	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová
IX	5	1	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová
X	3	1	M	31,5	dřevěná
			Z	35,6	plastová

6.4 Dotazníkové šetření

V rámci zhodnocení pohody vnitřního prostředí ve vztahu k zateplování budov, tedy k výměně starých dřevěných oken za nová plastová okna a zateplení fasády objektů, bylo provedeno dotazníkové šetření (průzkum). Tento dotazník slouží jako průzkum vnímání pohody a kvality vnitřního ovzduší. Respondenti hodnotili změnu ventilace prostoru, kvality vnitřního ovzduší, vlhkosti a výskytu plísní po některé fázi zateplení objektu, ve kterém žijí (výměně oken, zateplení, či celkovém zateplení). Dotazníkové šetření probíhalo od listopadu 2015 do března 2016 a to v několika formách: formou online anonymního dotazníku vytvořeného skrze Google formulář, který mohli dotazované osoby vyplnit online, dále pak formou papírových dotazníků, které byly buď vhozeny lidem v zateplených domech do schránek a následně sesbírány nazpět či formou osobního dotazování v obytných budovách po některé fázi zateplení. Celkem bylo získáno 500 plně vyplněných dotazníků a následně statisticky zpracováno. Počet 500 respondentů se uvádí jako dostatečný počet respondentů při zkoumání názorů obyvatel v oblasti velikosti krajského města, v našem případě se vliv zateplování prováděl celorepublikově, tedy nevíme, odkud respondenti přesně pocházeli. Pro celorepublikové průzkumy by však byl lepší vzorek 1000 respondentů. Uvádí se však obecně, že 500 respondentů je pro statistické zpracování validní vzorek [int 1]. Při zpracování dotazníkových dat byly použity základní popisné statistické charakteristiky - relativní a absolutní četnosti. Četností můžeme nazvat počet/procento výskytu nějakého jevu ve zkoumaném souboru dat. V tomto průzkumu jsou četnosti zaokrouhleny směrem nahoru.

Z 500ti respondentů, kteří dotazník vyplnili, bydlelo 313 v bytě, kde proběhlo zateplení fasády i výměna oken a 187 v bytě, kde proběhla pouze výměna oken bez zateplení fasády. Přičemž zateplování začínalo nejprve výměnou oken a poté zateplením samotné fasády objektu. Dotazník se skládal celkem z 12ti otázek - 8 hlavních otázek a 4 doplňkových. Odpovědi byly pro rychlejší výběr předdefinovány. Pro tvorbu dotazníku byly použity uzavřené otázky a na tyto otázky respondent odpovídal zaškrtnutím jedné z vybraných odpovědí. Otázky byly zaměřeny na vliv zateplování fasády a výměny oken na vnitřní prostory bytů, tedy zejména na zvýšení vlhkosti, zhoršení kvality ovzduší, nutnost častějšího větrání a výskyt plísní. Jelikož byl tento dotazník určen pro respondenty, kteří nemají detailní znalost problematiky kvality vnitřního prostředí, byly otázky a odpovědi formulovány takovým způsobem, aby byly jednoduché a srozumitelné. Při volbě počtu odpovědí se musí brát v potaz, zda se zvolí sudý nebo lichý počet odpovědí. U lichého počtu odpovědí bývá většinou jedna odpověď neutrální. Lichý počet odpovědí tedy dává respondentovi lepší možnost výběru, ale zároveň také možnost vyhnout se pravdivé odpovědi, a tak může výzkum

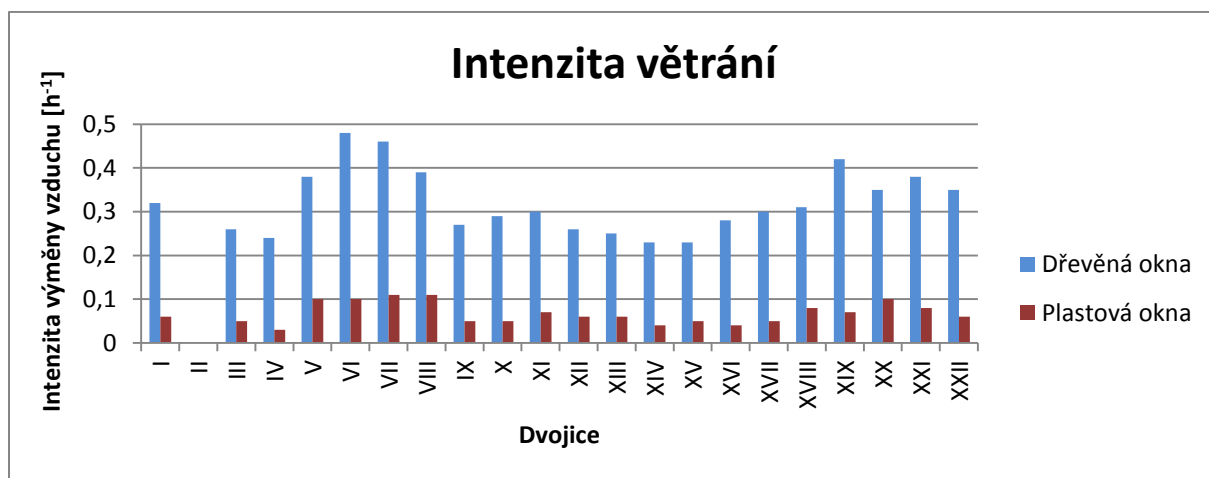
zkreslit [int 1]. Proto byl v dotazníku zvolen sudý počet odpovědí tak, aby respondent musel odpovědět na otázku jasně, bez možnosti vyhnout se nepříjemné odpovědi použitím varianty: *nevím*. Na druhou stranu ale nelze vyloučit, že respondent má opravdu neutrální postoj k dané otázce, a také neutrální postoj má svou vypovídací hodnotu. Dalším důležitým bodem při provádění dotazníkového šetření je návratnost dotazníku. Pokud je totiž návratnost nízká, výsledky mohou být nereprezentativní pro daný vzorek. Udává se tedy, že výsledky se dají považovat za reprezentativní pro daný vzorek, pokud se návratnost pohybuje nad 60 % [int 1]. V případě tohoto dotazníku se návratnost u papírových dotazníků pohybovala mezi 45 – 71% dle jednotlivých oslovených obytných budov, v případě online dotazníku odpovídali pouze lidé, kteří se k dotazníkům dostali přes zasláný odkaz a nelze tedy říci, kolik lidí, kteří dotazník četli, ho také vyplnili, v případě osobního roznášení dotazníků bylo ochotno odpovědět na dotazník 72 – 86% lidí, dle oslovených obytných budov. Při osobním obcházení s dotazníkem odpovídalo na dotazník nejvíce lidí starších padesáti let, které tato problematika zajímá, a hlavně měli čas věnovat dotazníku několik minut. Předpokládám, že i co se týče papírové a online formy dotazníku, bylo věkové složení respondentů ochotných zodpovědět dotazník podobné. Podobný dotazník provedl Frontczak et al. a též zmiňují, že nejvíce respondentů bylo starších padesáti let, avšak upozorňují na fakt, že statistická analýza ukázala, že rozdíl mezi respondenty mladšími a staršími padesáti let je tak malý, že i nadměrné zastoupení starších respondentů by nemělo mít na vyhodnocení dotazníkového šetření vliv a neovlivní tak celkové výsledky [101]. Dotazník je uveden v příloze G a výsledky dotazníku v kapitole 7. Výsledky.

7. VÝSLEDKY

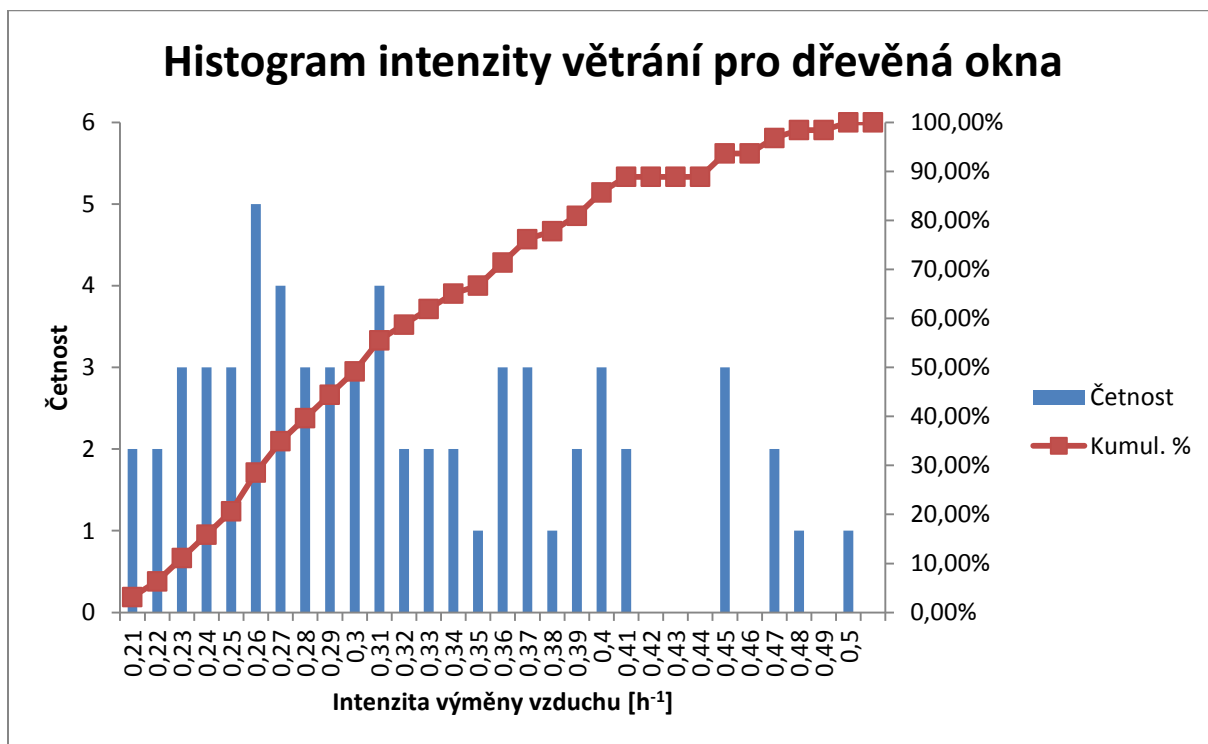
7.1 Intenzita výměny vzduchu a CO₂

Tabulka s naměřenými hodnotami koncentrace CO₂ a vypočítaná intenzita větrání pro jednotlivé byty je uvedena v Příloze A (tab. 1). V Příloze B (obr. B1) je uveden graf znázorňující intenzitu výměny vzduchu ve všech bytech. V příloze C jsou znázorněny grafy všech průměrných (obr. C1) a maximálních (obr. C2) koncentrací CO₂ v jednotlivých ložnicích během noci. Dvojice II byla ze zpracování výsledků intenzity větrání vynechána, protože v bytě č. 3 došlo k porušení režimu nutného k monitorování poklesu CO₂, takže intenzita větrání nemohla být z tohoto důvodu vypočítána. V noci však byl režim dodržen, proto maximální a průměrné koncentrace CO₂, teplota a relativní vlhkost této dvojice jsou do zpracování dat zařazeny. Na obr. 32 je ve sloupcovém grafu znázorněna průměrná intenzita větrání pro jednotlivé dvojice bytů. Z obrázku je patrné, že intenzita větrání byla vyšší

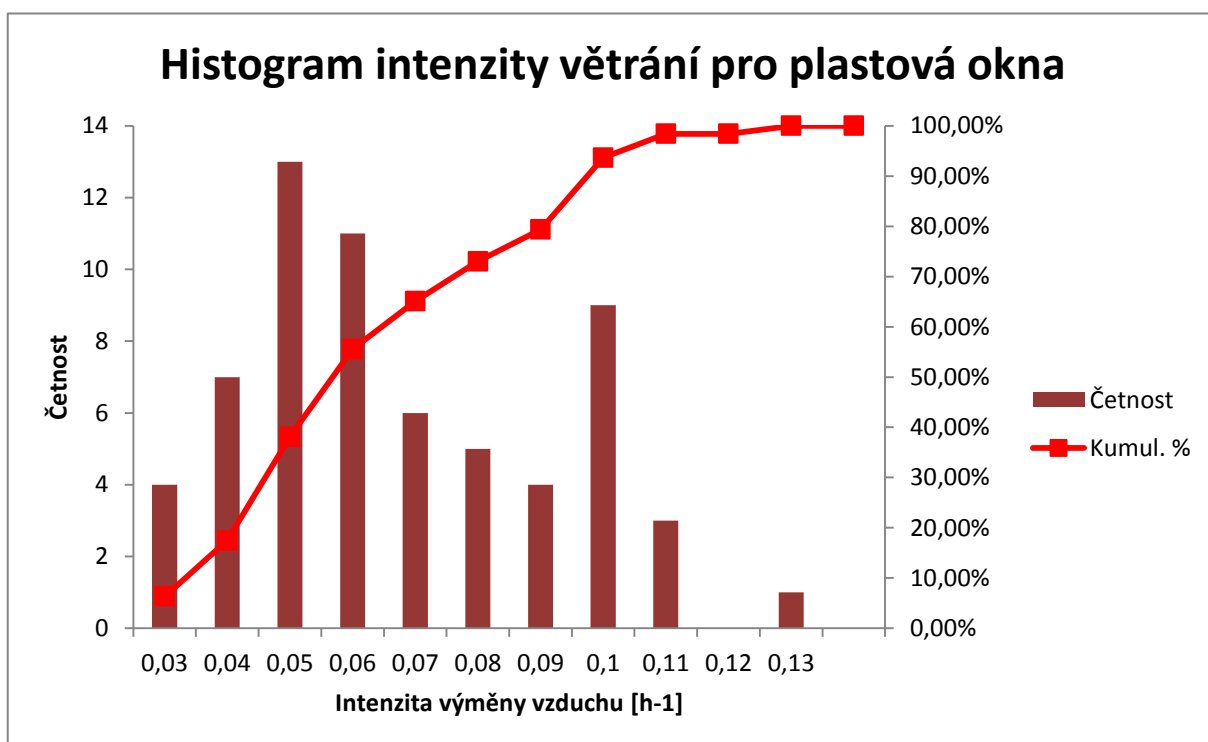
v bytech s dřevěnými okny a to v průměru 5x. Intenzita výměny vzduchu se ze všech měření u plastových oken pohybovala mezi hodnotami $0,03 - 0,13 \text{ h}^{-1}$ ($n=66$), (průměrná ventilační rychlost pro každou ložnici se pohybovala mezi $0,03 - 0,11 \text{ h}^{-1}$; $n=22$) a u dřevěných oken pro všechna měření mezi $0,21 - 0,50 \text{ h}^{-1}$ (průměrná ventilační rychlost pro každou ložnici mezi $0,23 - 0,48 \text{ h}^{-1}$). Na obr. 33 a 34 je uveden histogram a graf kumulativních četností intenzity větrání v ložnicích s dřevěnými a plastovými okny. Nejčastější intenzita větrání byla naměřena $0,26 \text{ h}^{-1}$ u dřevěných oken a $0,05 \text{ h}^{-1}$ u plastových oken. Medián intenzity větrání se pohyboval okolo $0,30 \text{ h}^{-1}$ u ložnic s plastovými okny a okolo $0,05 \text{ h}^{-1}$ u dřevěných oken (viz. obr. 35 a 36). Intenzita větrání v ložnicích s dřevěnými okny vykazuje větší variabilitu (obr. 35 a 36), což je způsobeno tím, že dřevěná okna v monitorovaných ložnicích byly v různém stavu opotřebení a staré až 40 let. Oproti tomu intenzita větrání v ložnicích s plastovými okny vykazuje menší variabilitu, protože plastová okna byla ve velice podobném stavu a lišila se pouze výrobcem a normou. V ložnicích s plastovými okny vyrobenými podle současných norem byla naměřena nejnižší intenzita větrání. Po vstupu ČR do EU musela být legislativa EU implementována do legislativy ČR. Tedy i zákony týkající se hospodaření energií a z toho vyplývající požadavky na energetickou náročnost budov. Požadavky skupiny norem ČSN 73 0540 "Tepelná ochrana budov" na součinitel prostupu tepla se od roku 1994 neustále zpřísňují a to odpovídá i vývoji okenních systémů. Obecně výplně otvorů budov, tedy okna a dveře, musí splňovat příslušná technicko-tepelná kritéria (součinitel prostupu tepla). Proto jsou v posledních cca 15 letech izolační vlastnosti oken obdobné a tedy i hodnoty naměřené průvzdušnosti (h^{-1}) jsou velmi podobné. Na rozdíl od původních, často i velmi starých, oken. Jejich technický stav odpovídá stáří a způsobu údržby a je tedy velmi rozdílný. Proto i naměřené hodnoty průvzdušnosti (h^{-1}) se pohybují v daleko širším intervalu.



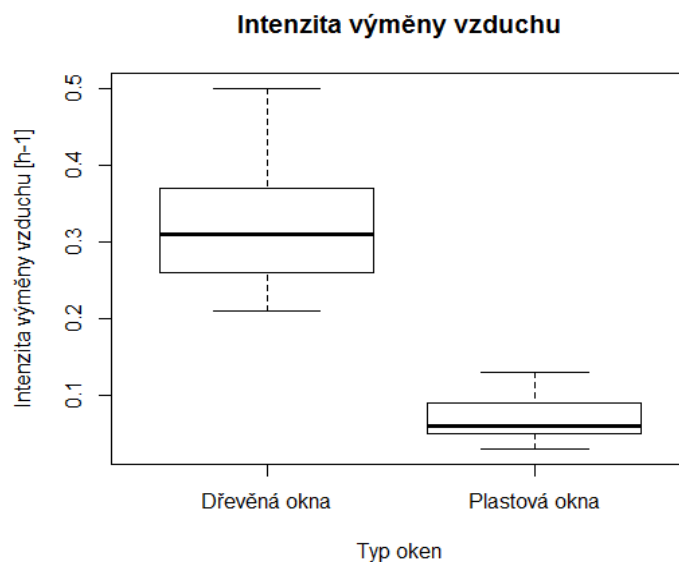
Obr. 32: Intenzita větrání v jednotlivých dvojicích bytů I - XXII



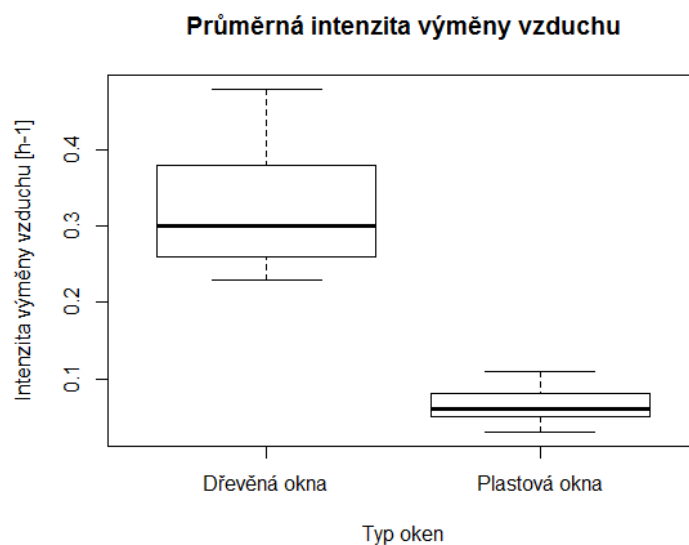
Obr. 33: Histogram a kumulativní graf intenzity výměny vzduchu pro ložnice s dřevěnými okny



Obr. 34: Histogram a kumulativní graf intenzity výměny vzduchu pro ložnice s plastovými okny

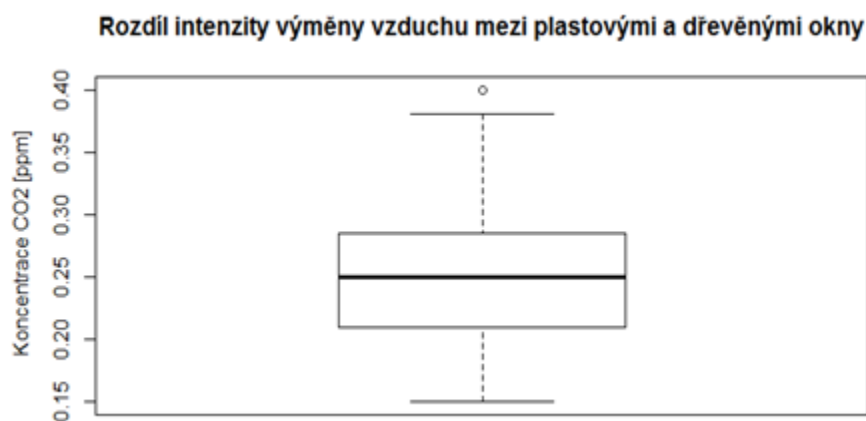


Obr. 35: Krabicový graf intenzity výměny vzduchu v ložnicích s dřevěnými (n=66) a plastovými okny (n=66) pro jednotlivá měření



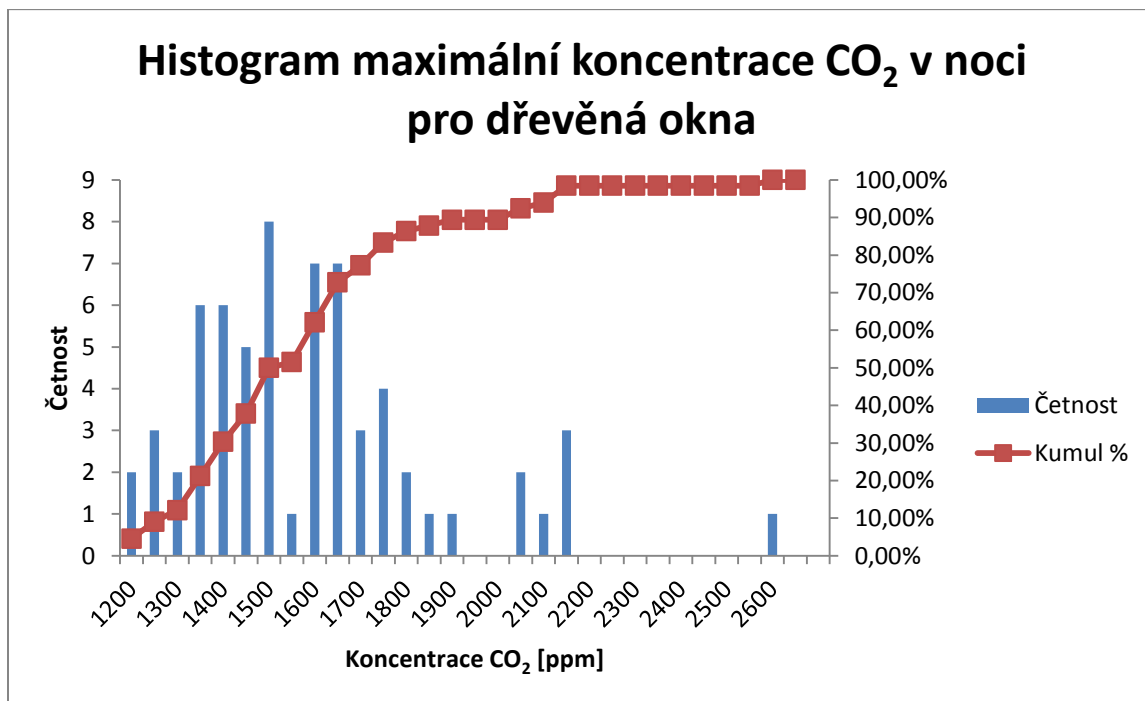
Obr. 36: Krabicový graf průměrné intenzity výměny vzduchu v ložnicích s dřevěnými (n=22) a plastovými okny (n=22)

Na obr. 37 je znázorněn krabicový graf rozdílu mezi intenzitou větrání v ložnicích s dřevěnými a plastovými okny, z obrázku je patrné, že medián rozdílu se pohyboval okolo $0,25 \text{ h}^{-1}$.

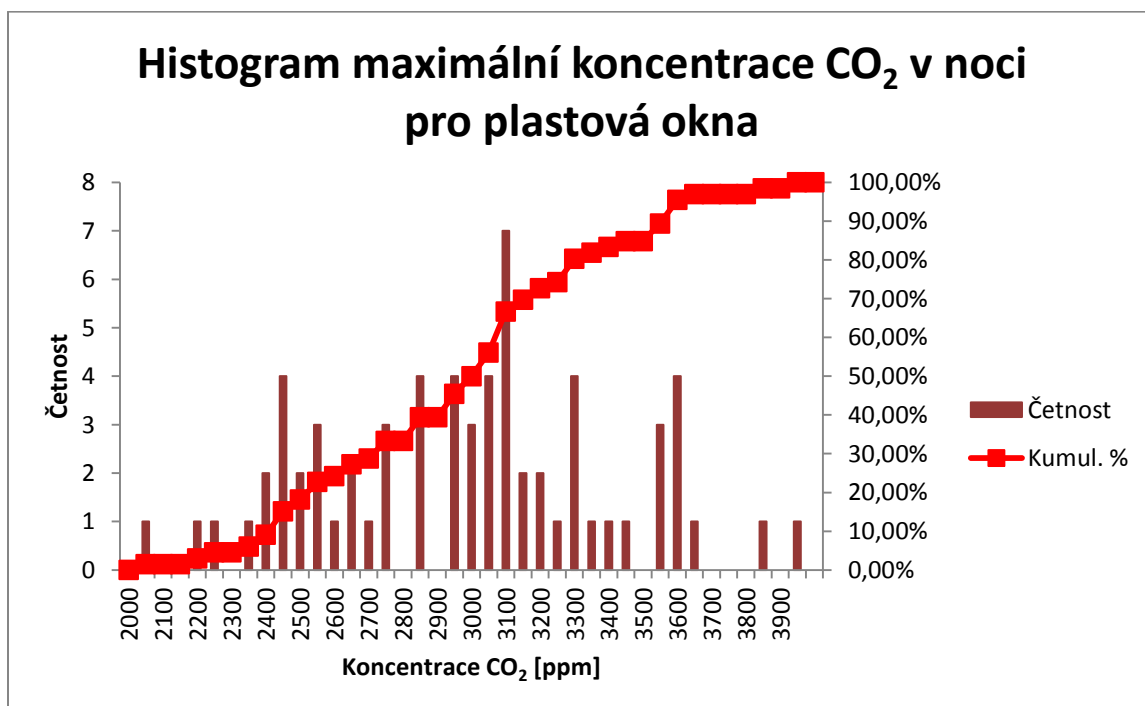


Obr. 37: Krabicový graf rozdílu intenzity větrání naměřené v ložnicích s dřevěnými a plastovými okny

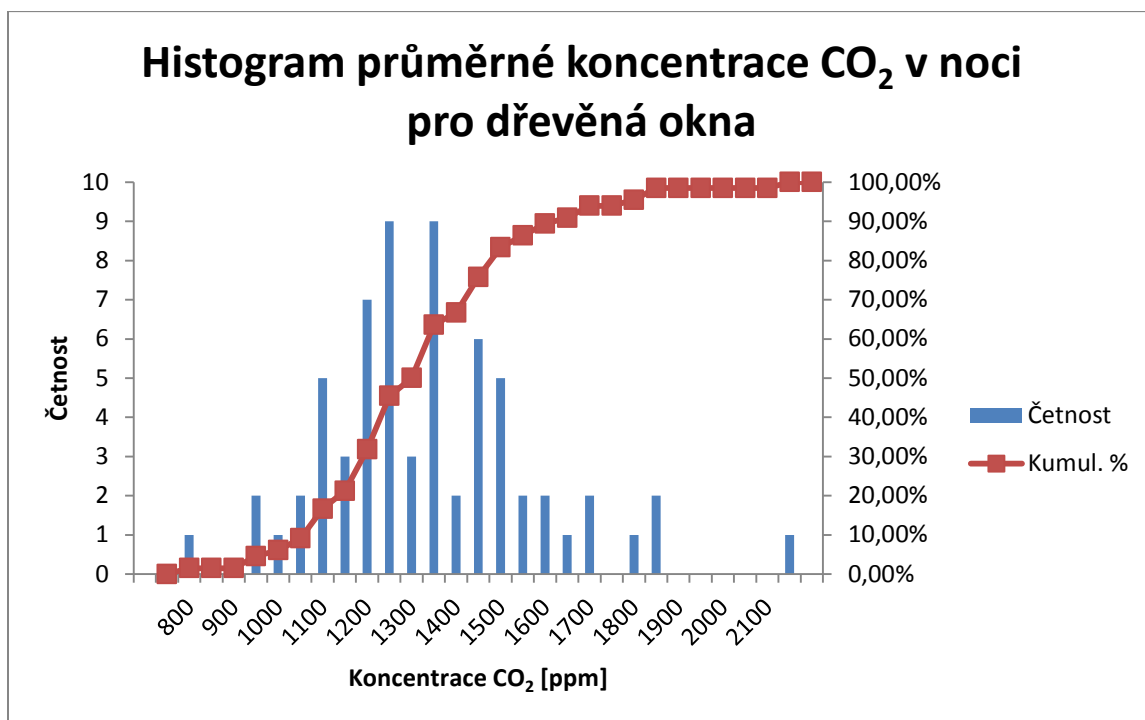
Maximální a průměrná koncentrace CO_2 byla vypočítána z intervalu spánku 7 hodin. Všichni lidé účastníci se měření totiž spali minimálně 7 hodin. Maximální koncentrace CO_2 se pohybovaly v ložnicích s plastovými okny mezi 2005 – 3920 ppm a v ložnicích s dřevěnými okny mezi 1149 – 2580 ppm. Průměrné koncentrace CO_2 se pohybovaly v ložnicích s plastovými okny mezi 1716 – 3197 ppm a v ložnicích s dřevěnými okny mezi 796 – 2125 ppm. Průměrná koncentrace CO_2 byla v průměru o 91 % vyšší (tedy skoro 2x vyšší) v ložnicích s plastovými okny v porovnání s ložnicemi s dřevěnými okny, maximální koncentrace byla vyšší v průměru o 93 %. Na obr. 38 a 39 je znázorněn histogram a kumulativní graf maximální koncentrace CO_2 v noci v ložnicích s dřevěnými okny a plastovými okny. Na obr. 40 a 41 je znázorněn histogram a kumulativní graf průměrné koncentrace CO_2 v ložnicích s dřevěnými a plastovými okny. Z grafů je patrné, že nejčtenější maximální koncentrace CO_2 byla 1500 ppm v ložnicích s dřevěnými okny a 3100 ppm v ložnicích s plastovými okny. Medián maximální koncentrace CO_2 se pohyboval okolo 1500 ppm v ložnicích s dřevěnými okny a okolo 3000 ppm v ložnicích s plastovými okny (obr. 42). Nejčtenější průměrná koncentrace CO_2 byla 1250 a 1350 ppm v ložnicích s dřevěnými okny a 2200 ppm v ložnicích s plastovými okny (viz. obr. 40 a 41). Medián průměrné koncentrace CO_2 se v ložnicích s dřevěnými okny pohyboval okolo 1300 ppm a v ložnicích s plastovými okny okolo 2500 ppm (obr. 43). Na obr. 44 je znázorněn krabicový graf rozdílů maximální koncentrace CO_2 mezi plastovými a dřevěnými okny, na obr. 45 je znázorněn krabicový graf pro rozdíl průměrných koncentrací CO_2 v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny. Medián rozdílu maximální koncentrace CO_2 mezi ložnicemi s plastovými a dřevěnými okny se pohyboval okolo 1500 ppm, medián rozdílu průměrné koncentrace CO_2 mezi ložnicemi s plastovými a dřevěnými okny se pohyboval okolo 1000 ppm.



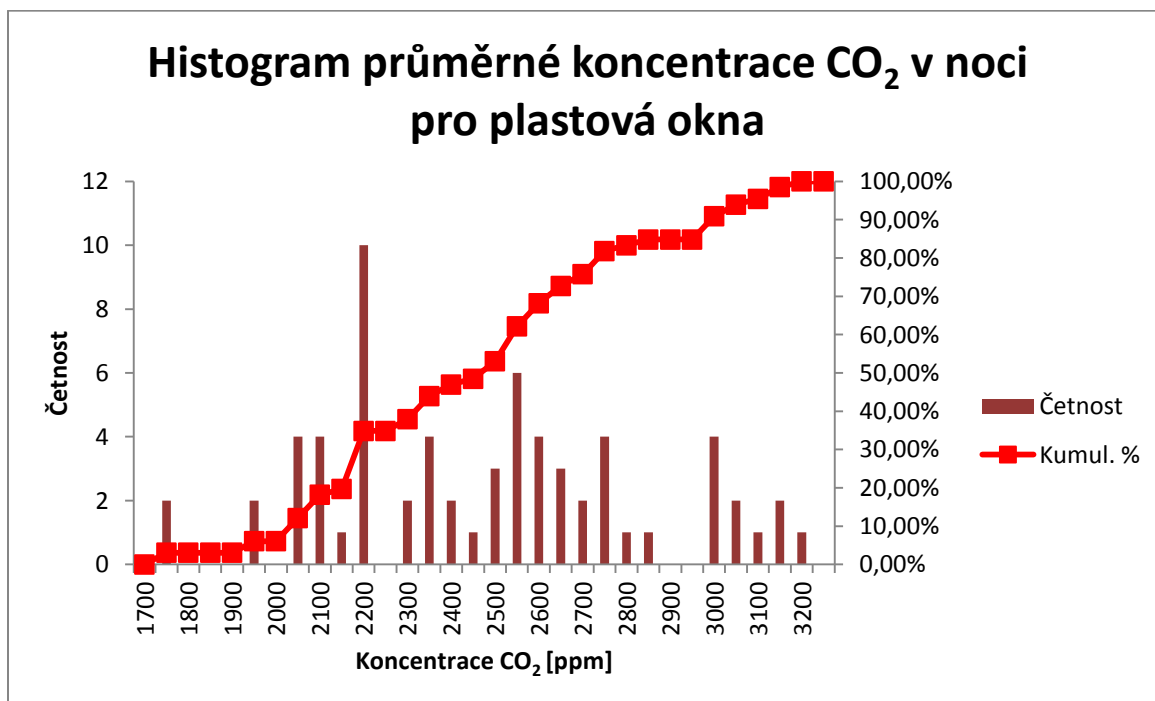
Obr. 38: Histogram a kumulativní graf maximální koncentrace CO₂ v ložnicích s dřevěnými okny



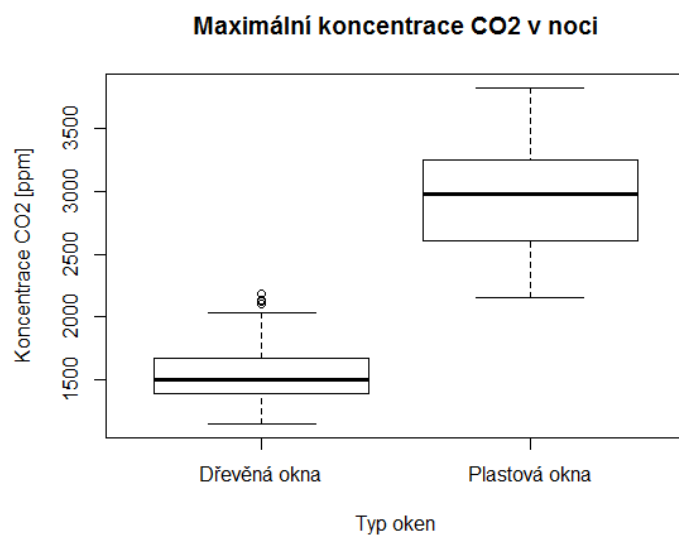
Obr. 39: Histogram a kumulativní graf maximální koncentrace CO₂ v ložnicích s plastovými okny



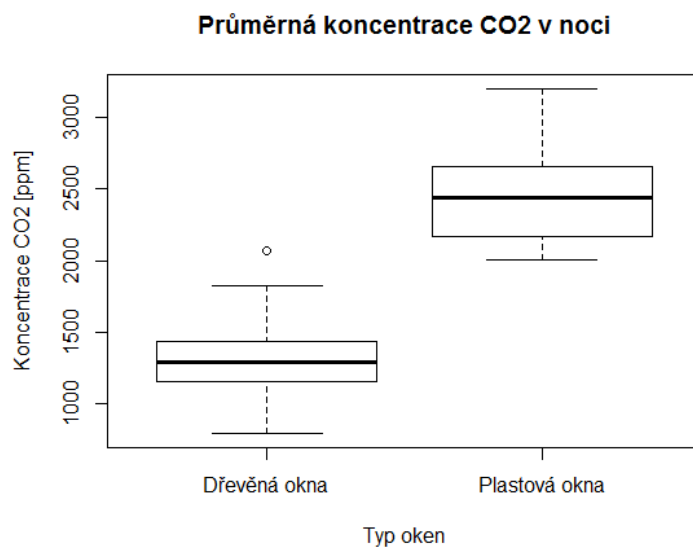
Obr. 40: Histogram a kumulativní graf průměrné koncentrace CO₂ v ložnicích s dřevěnými okny



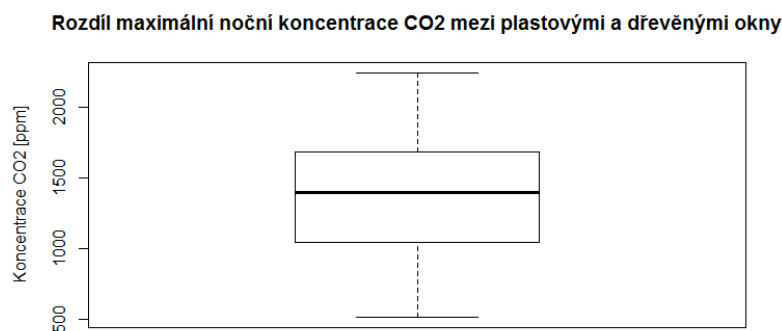
Obr. 41: Histogram a kumulativní graf průměrné koncentrace CO₂ v ložnicích s plastovými okny



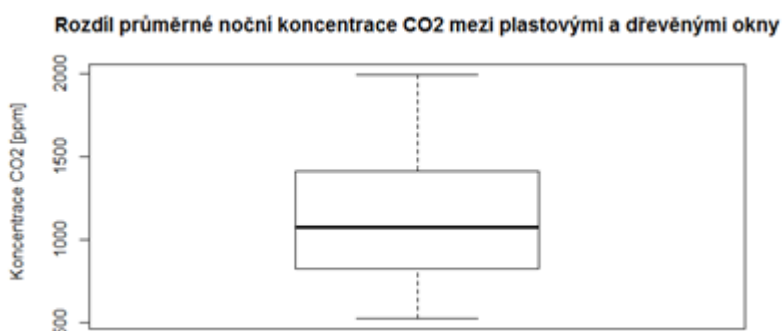
Obr. 42: Krabicový graf maximální koncentrace CO₂ v ložnicích s dřevěnými (n=66) a plastovými okny (n=66)



Obr. 43: Krabicový graf průměrné koncentrace CO₂ v ložnicích s dřevěnými (n=66) a plastovými okny (n=66)

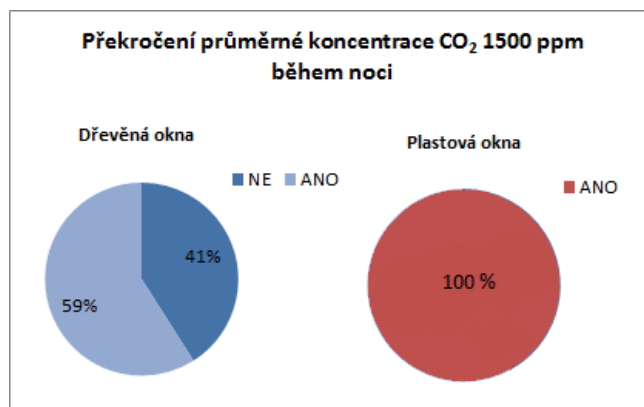


Obr. 44: Krabicový graf rozdílů maximální koncentrace CO₂ v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny

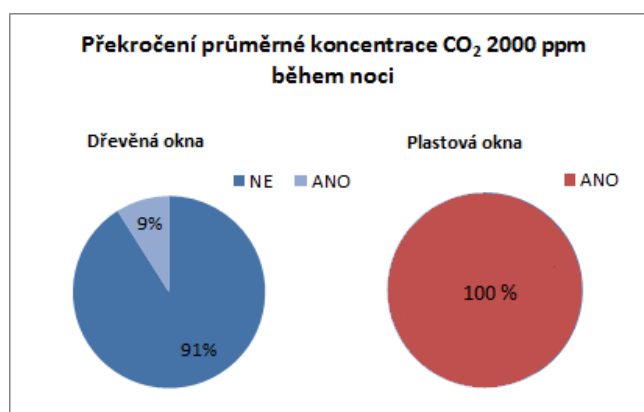


Obr. 45: Krabicový graf rozdílů průměrné koncentrace CO₂ v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny

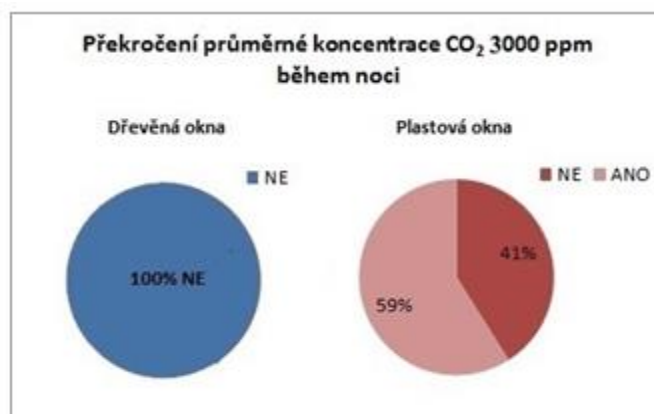
Na obr. 46 – 48 je znázorněno překročení koncentrace 1500 ppm, 2000 ppm a 3000 ppm v ložnicích během noci při zavřených oknech a dveřích. Jedná se o překročení určité koncentrace (1000, 1500, 2000 a 3000 ppm) alespoň po 5 a více procent noci alespoň po jednu noc v monitorované ložnici. Koncentrace 1000 ppm byla překročena u všech ložnic s plastovými i dřevěnými okny. Koncentrace 1500 a 2000 ppm byla překročena během noci u všech bytů s plastovými okny, oproti tomu koncentrace v ložnicích s dřevěnými okny 1500 ppm CO₂ byla překročena u 59 % ložnic s dřevěnými okny a koncentrace 2000 u 9%. Koncentrace CO₂ 3000 ppm nebyla překročena v žádné ložnici s dřevěnými okny, ale u 59 % ložnic s plastovými okny.



Obr. 46: Koláčový graf překročení průměrné koncentrace CO₂ 1500 ppm během noci



Obr. 47: Koláčový graf překročení průměrné koncentrace CO₂ 2000 ppm během noci



Obr. 48: Koláčový graf překročení průměrné koncentrace CO₂ 3000 ppm během noci

Podle Evropského standardu ČSN EN 15251 lze IAQ rozdělit do 4 kategorií dle rozdílu mezi vnitřní a venkovní koncentrací CO₂ [123], viz tab. VIII. Pokud budou tyto hodnoty vztaženy k průměrné koncentraci CO₂ během noci v monitorovaných ložnicích, tak všechny ložnice s plastovými okny spadají do IV. kategorie. Do kategorie IV spadá 73%

ložnic s dřevěnými okny a 27% do kategorie III (během všech tří nocí byl rozdíl průměrné vnitřní a venkovní koncentrace CO₂ pod 800 ppm).

Tab. VIII: Kategorie IAQ:

Kategorie	Rozdíl koncentrací CO ₂ [ppm]
I	350
II	500
III	800
IV	> 800

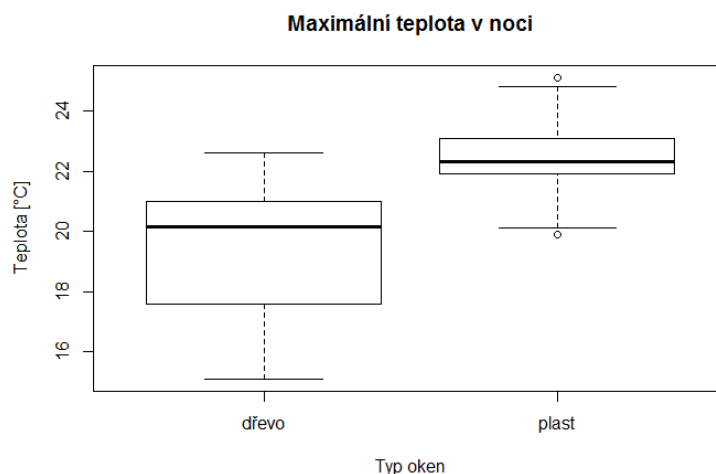
7.1.1 Statistické zpracování dat – koncentrace CO₂ a intenzity větrání

V rámci zpracování výsledků měření koncentrace CO₂ a intenzity větrání byla provedena statistická analýza v programu Rcommander. Nejprve byla data otestována na normalitu a poté vybrán vhodný test k otestování rozdílu mezi daty pro plastová a dřevěná okna. K otestování normálního rozdělení dat byl použit Shapirův – Wilkův test normality. Podle rozdělení dat byl pak k otestování hypotézy vybrán buď dvouvýběrový t – test pro data s normálním rozdělením - v případě stejného rozptylu – ověřeného F - testem, v případě odlišného rozptylu dvouvýběrový Welchův test. V případě dat, která neměla normální rozdělení byl použit dvouvýběrový Wilcoxonův test. Podle centrální limitní věty, která říká, že pro dostatečně velká n ($n \geq 30$) lze rozložení součtu $\sum_{i=1}^n X_i$ nezávislých a stejně rozložených náhodných veličin aproximovat normálním rozložením, mohl být použit pro otestování nulové hypotézy u všech dat dvouvýběrový t-test, který se používá v případě, že mají zkoumaná data normální rozdělení. Pro dostatečně velké n se distribuční funkce náhodné veličiny jen nepatrně liší od distribuční funkce normálního rozdělení. Součet (i průměr) většího počtu nezávislých stejně rozdělených náhodných veličin má přibližně normální rozdělení. Testovaných dat bylo v případě maximální a průměrné koncentrace CO₂ a intenzity větrání vždy 66 od každého typu oken. V případě průměru intenzity větrání bylo k dispozici 22 dat od každého typu oken (pro každou ložnici jedna průměrná intenzita větrání vypočítaná z jednotlivých tří měření pro každý den), ale tato data měla podle Shapirova – Wilkova testu normality normální rozdělení. Podle dvouvýběrového Wilcoxonova testu i dvouvýběrového t – testu (či Welchova testu) se hodnoty maximálních i průměrných koncentrací CO₂ a hodnoty intenzity výměny vzduchu statisticky významně liší mezi ložnicemi s plastovými a dřevěnými

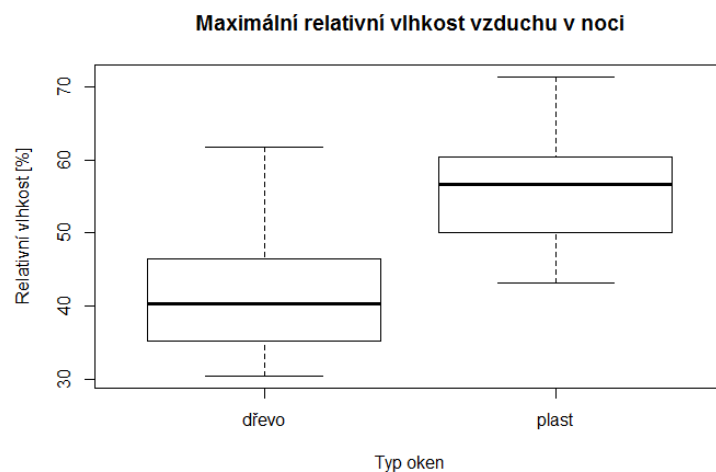
okny. Hodnota p byla ve všech případech testování nulové hypotézy menší než hladina významnosti 5%, proto se nulová hypotéza, že data se neliší, zamítá. Statistická analýza tedy prokázala statisticky významný rozdíl mezi plastovými a dřevěnými okny.

7.2 Teplota a relativní vlhkost vzduchu

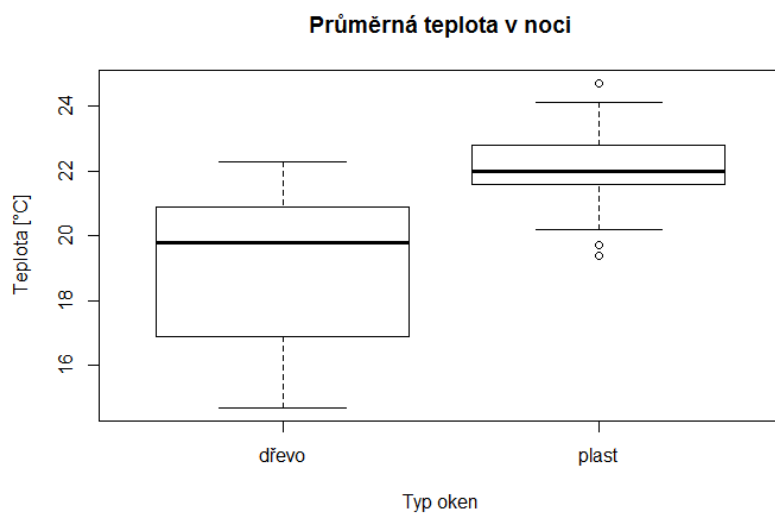
V Příloze D je uvedena tabulka (tab. 2) se všemi naměřenými hodnotami teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Je zde také uvedena tabulka s venkovní teplotou a relativní vlhkostí vzduchu během měření (tab. 3). Maximální teplota se pohybovala v ložnicích s dřevěnými okny mezi 15,1 – 22,6 °C a v ložnicích s plastovými okny mezi 19,9 – 25,1 °C. Průměrná teplota během noci se pohybovala v ložnicích s dřevěnými okny mezi 14,7 – 22,3 °C a v ložnicích s plastovými okny 19,4 – 24,7 °C. Maximální relativní vlhkost se pohybovala v ložnicích s dřevěnými okny mezi 30,5 – 61,7 % a v ložnicích s plastovými okny mezi 43,2 – 71,3 %. Průměrná relativní vlhkost se pohybovala v ložnicích s dřevěnými okny mezi 29,8 – 56,1 % a v ložnicích s plastovými okny mezi 41,7 – 69,5 %. Z obr. 49 a 50 je patrné, že maximální teplota a relativní vlhkost byla vyšší v ložnicích s plastovými okny. Maximální teplota byla v průměru vyšší o 17 % a relativní vlhkost vzduchu o 41% v ložnicích s plastovými okny oproti ložnicím s dřevěnými okny, patrné z obr. 49 a 50. Průměrná teplota byla v průměru vyšší o 17 % a relativní vlhkost vzduchu o 39% v ložnicích s plastovými okny oproti ložnicím s dřevěnými okny. Z obr. 51 a 52 je také patrné, že průměrná teplota a i relativní vlhkost během noci byla vyšší v bytech s plastovými okny.



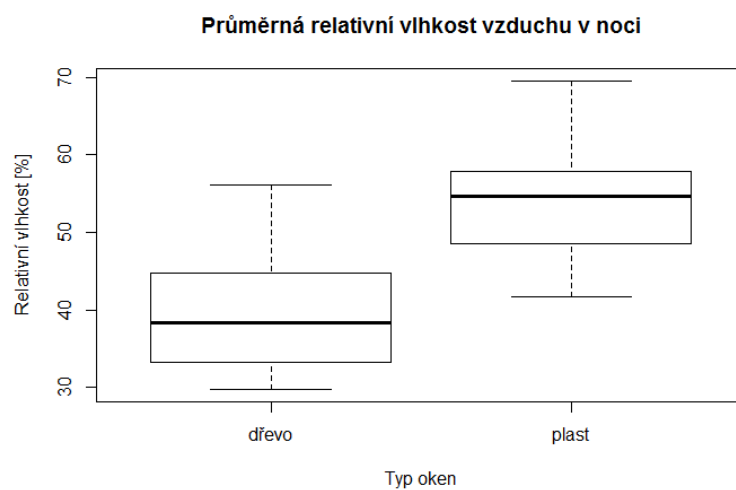
Obr. 49: Krabicový graf maximální teploty během noci



Obr. 50: Krabicový graf maximální relativní vlhkosti vzduchu během noci

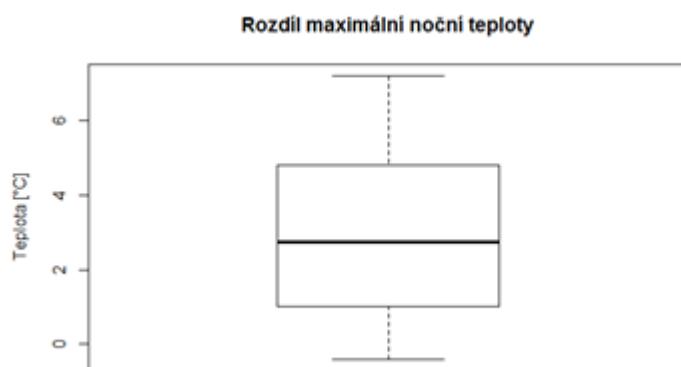


Obr. 51: Krabicový graf průměrné teploty během noci

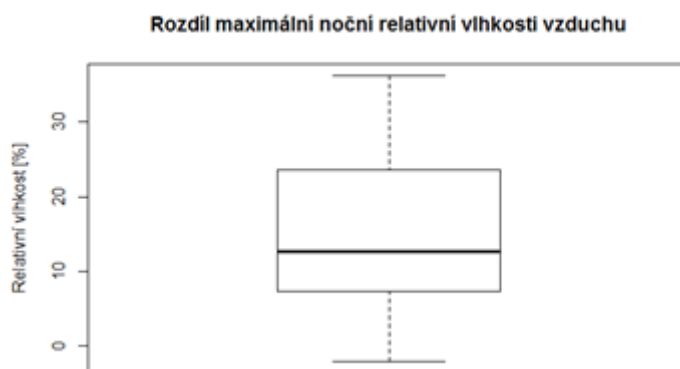


Obr. 52: Krabicový graf relativní vlhkosti vzduchu během noci

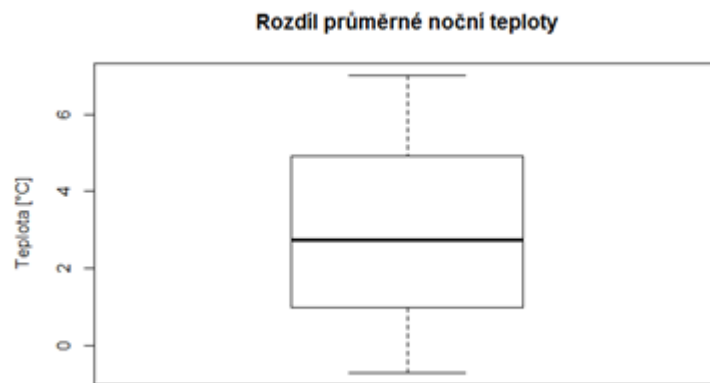
Na obr. 53 je znázorněn krabicový graf rozdílu maximální teploty mezi ložnicemi s plastovými a dřevěnými okny, na obr. 54 je znázorněn krabicový graf rozdílu maximální relativní vlhkosti vzduchu mezi ložnicemi s plastovými a dřevěnými okny. Z grafů je patrné, že medián rozdílu teploty mezi ložnicemi s plastovými a dřevěnými okny byl okolo 3 °C a průměrný rozdíl relativní vlhkosti byl okolo 15 %. Na obrázku 55 je znázorněn krabicový graf rozdílu průměrné teploty mezi ložnicemi s plastovými a dřevěnými okny a na obr. 56 je znázorněn krabicový graf rozdílu průměrné relativní vlhkosti vzduchu mezi ložnicemi s plastovými a dřevěnými okny. Medián rozdílu mezi průměrnou teplotou v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny byl u teploty okolo 3 °C a u relativní vlhkosti vzduchu okolo 14 %.



Obr. 53: Krabicový graf rozdílu maximální teploty v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny



Obr. 54: Krabicový graf rozdílu maximální relativní vlhkosti vzduchu v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny



Obr. 55: Krabicový graf rozdílu průměrné teploty v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny



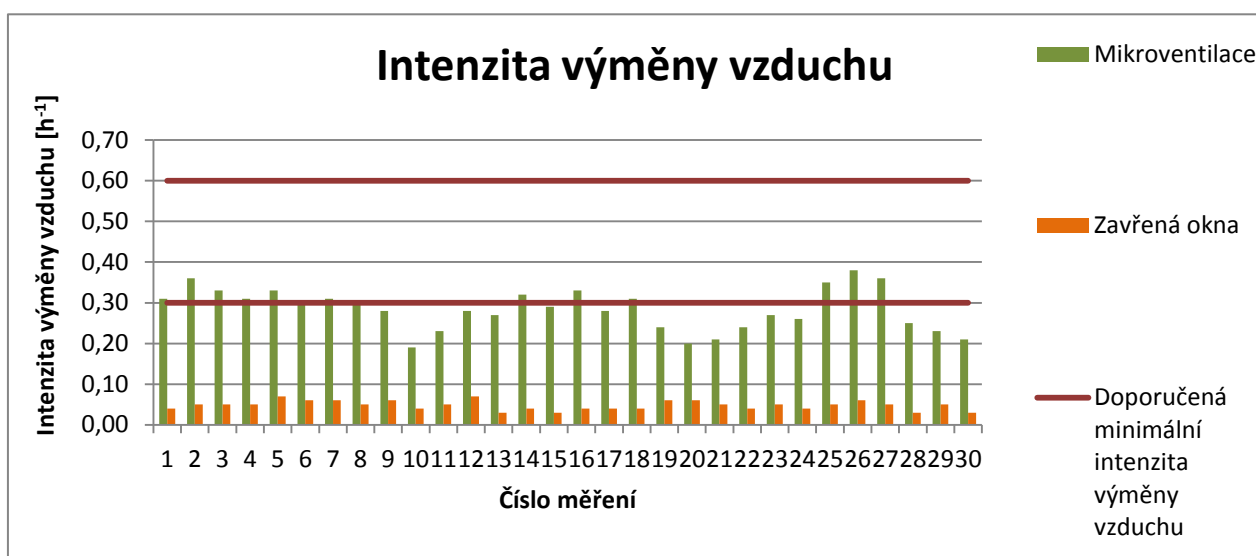
Obr. 56: Krabicový graf rozdílu průměrné relativní vlhkosti vzduchu v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny

7.2.1 Statistické zpracování dat – teplota a relativní vlhkost vzduchu

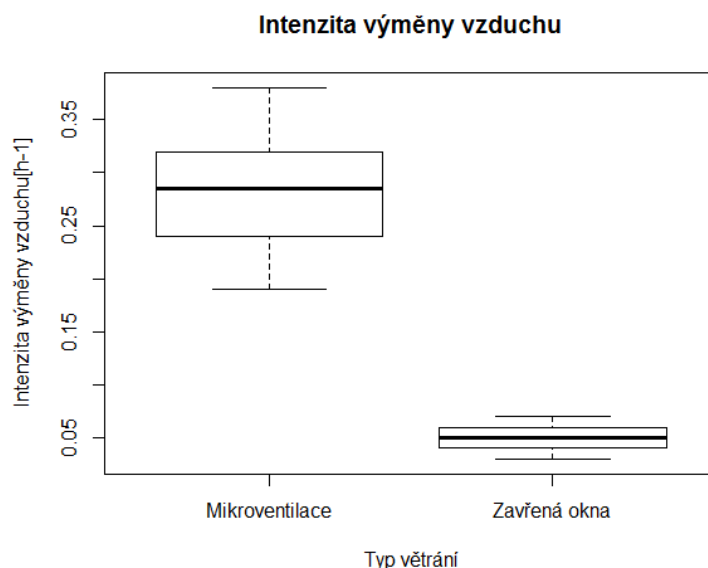
V rámci zpracování výsledků měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu byla provedena statistická analýza dat stejným způsobem jako v případě koncentrace CO_2 a intenzity větrání (viz kapitola 7.1.1). K porovnání výsledků byl použit dvouvýběrový Wilcoxonův test a dvouvýběrový t- test (či Welchův dvouvýběrový test), oba dva testy prokázaly statisticky významný rozdíl mezi teplotou a relativní vlhkostí vzduchu (maximální i průměrnou) v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny. Hodnota p byla vždy menší než hladina významnosti 5 %, nulová hypotéza, že data se neliší, se tedy zamítá a data naměřená v ložnicích s plastovými okny se statisticky významně liší od dat naměřených v ložnicích s dřevěnými okny.

7.3 Případová studie mikroventilace

Tabulka s naměřenými koncentracemi CO_2 a vypočítanou intenzitou větrání je uvedena v Příloze E (tab. 4), kde je také zobrazen graf maximálních (obr. E1) a průměrných (obr. E2) koncentrací CO_2 pro jednotlivé ložnice. V Příloze F je uvedena tabulka s naměřenými hodnotami teploty a relativní vlhkosti vzduchu (tab. 5) a také tabulka s venkovní teplotou a relativní vlhkostí ve dnech, kdy probíhalo měření uvnitř bytů (tab. 6). Na obr. 57 je znázorněn graf průměrné intenzity výměny vzduchu pro jednotlivé dvojice bytů. Z obrázku je patrné, že intenzita výměny vzduchu byla vyšší při režimu mikroventilace a to v průměru 6x. Intenzita výměny vzduchu pro všechna měření se pohybovala mezi $0,19 - 0,38 \text{ h}^{-1}$ v ložnicích s režimem mikroventilace a mezi $0,03 - 0,07 \text{ h}^{-1}$ v ložnicích s úplně zavřenými okny. Z obr. 58 je patrná větší variabilita intenzity výměny vzduchu v ložnicích s režimem mikroventilace. To může být způsobeno tím, že režim mikroventilace je více ovlivněn teplotním rozdílem (mezi vnitřní a venkovní teplotou) a větrem než u uzavřených oken, a také tím, že každý výrobce oken má velikostně odlišné nastavení mikroventilace.

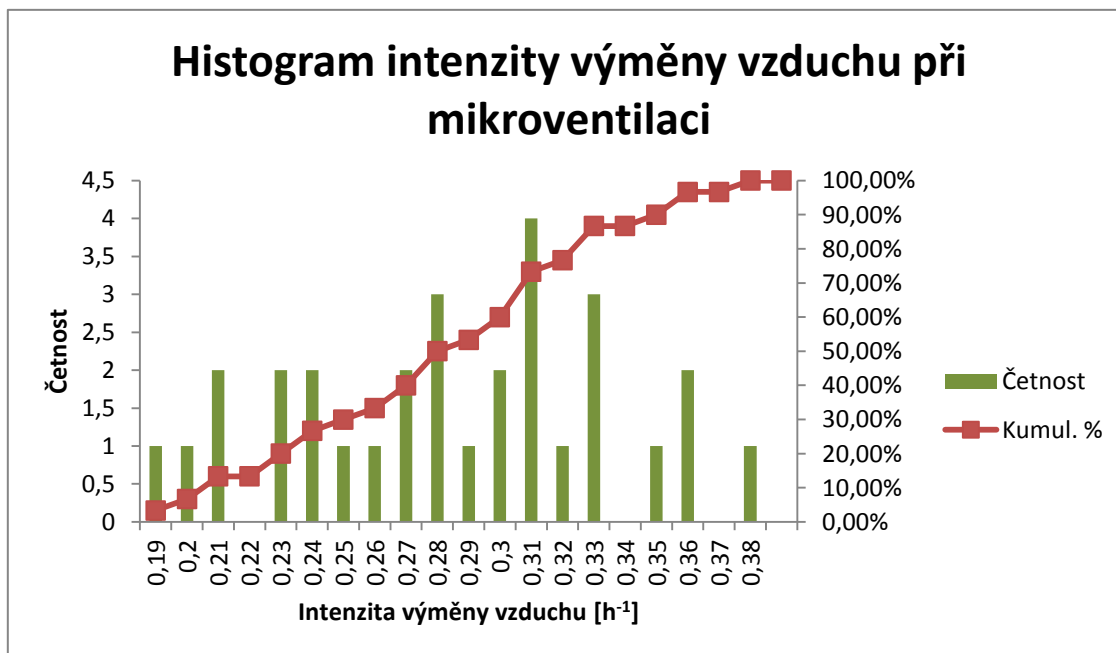


Obr. 57: Graf intenzity výměny vzduchu při zavřených oknech a v režimu mikroventilace

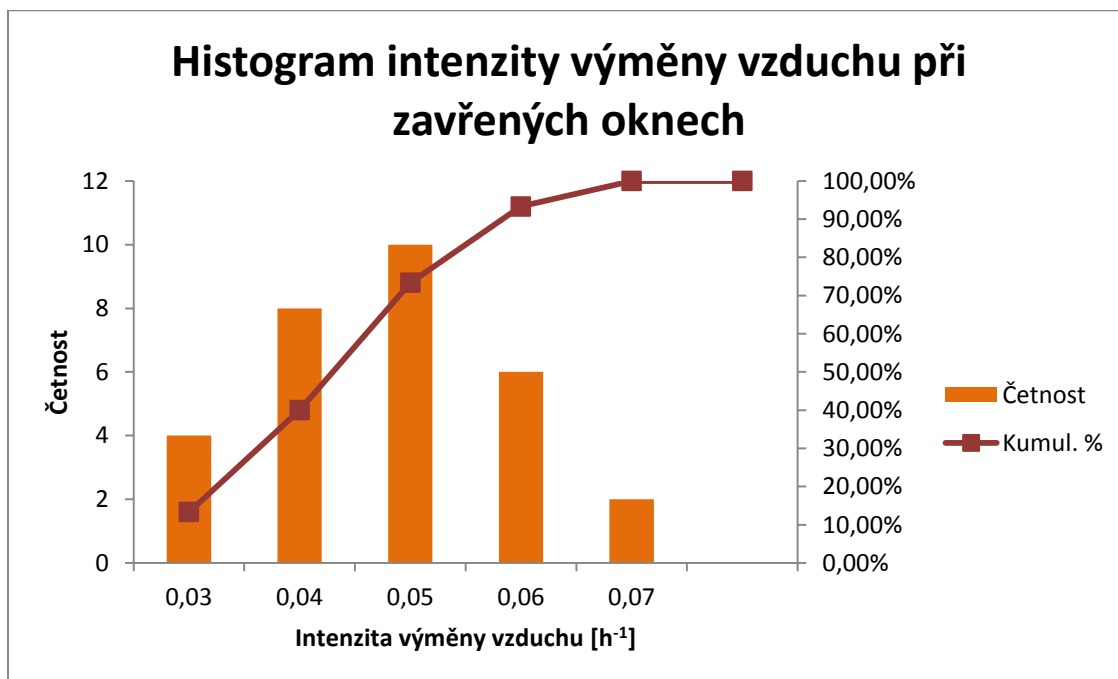


Obr. 58: Krabicový graf intenzity výměny vzduchu v ložnicích s okny v režimu mikroventilace a se zavřenými okny

Na obr. 59 a 60 je uveden histogram a kumulativní graf intenzity výměny vzduchu pro ložnice s okny v režimu mikroventilace a se zavřenými okny. Nejčastější byla intenzita výměny vzduchu 0,31 h⁻¹ při režimu mikroventilace a 0,05 h⁻¹ při zavřených oknech.

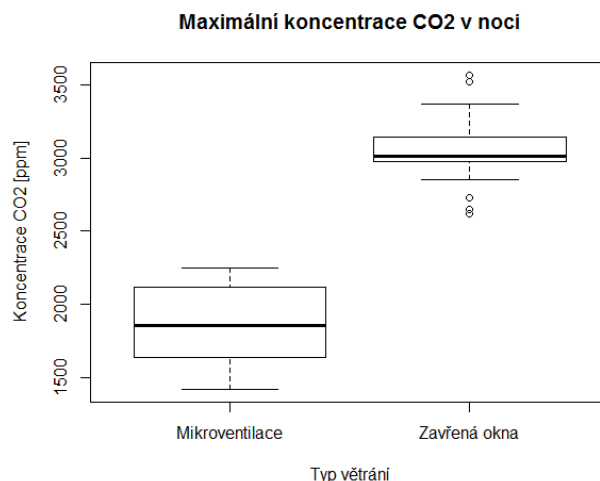


Obr. 59: Histogram a kumulativní graf intenzity výměny vzduchu pro ložnice s okny v režimu mikroventilace

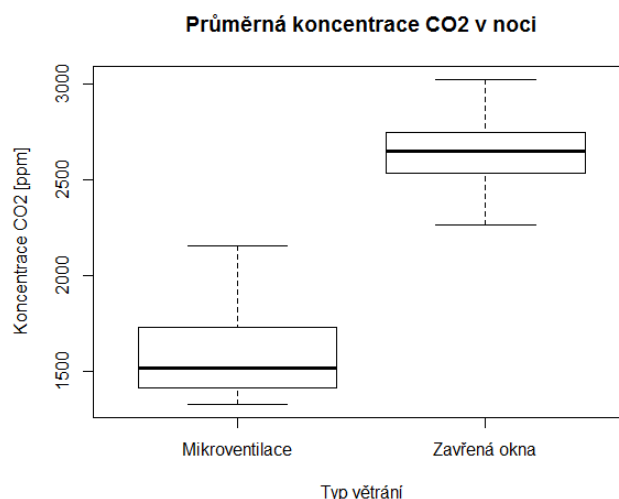


Obr. 60: Histogram a kumulativní graf intenzity výměny vzduchu pro ložnice se zavřenými okny v režimu mikroventilace

Na obr. 61 a 62 je uveden krabicový graf maximální a průměrné koncentrace CO_2 v noci. Z grafů je patrné, že maximální i průměrné koncentrace CO_2 byly vyšší v ložnicích s úplně zavřenými okny. Maximální koncentrace se pohybovaly mezi 2620 – 3565 ppm v ložnicích se zavřenými okny a mezi 1420 – 2250 ppm v ložnicích s okny v režimu mikroventilace (viz Příloha E, obr E1). Průměrná koncentrace se pohybovaly mezi 2262 - 3022 ppm v ložnicích se zavřenými okny a mezi 1329 – 2154 ppm v ložnicích s okny v režimu mikroventilace (viz Příloha E, obr E2). Koncentrace 1000 ppm byla překročena všech ložnicích, bez ohledu na režim oken. Koncentrace 1500 ppm byla překročena ve všech ložnicích s uzavřenými okny a v 90 % ložnic s okny v režimu mikroventilace. Maximální koncentrace oxidu uhličitého byly v průměru o 67 % vyšší a průměrné o 69 % vyšší v ložnicích se zavřenými okny než v ložnicích s okny v režimu mikroventilace. Koncentrace 2000 ppm byla překročena ve všech ložnicích se zavřenými okny a u 50 % ložnic s okny v režimu mikroventilace, koncentrace 3000 ppm nebyla překročena v žádné ložnici s režimem mikroventilace, ale u 90 % ložnic s uzavřenými okny.



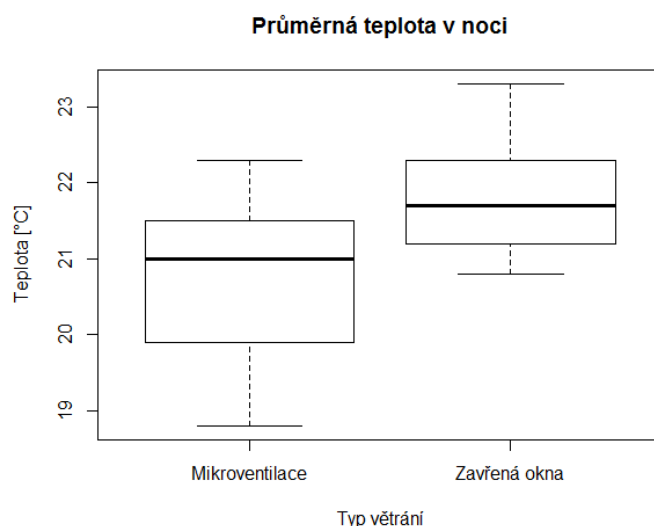
Obr. 61: Krabicový graf maximální koncentrace CO₂ v noci



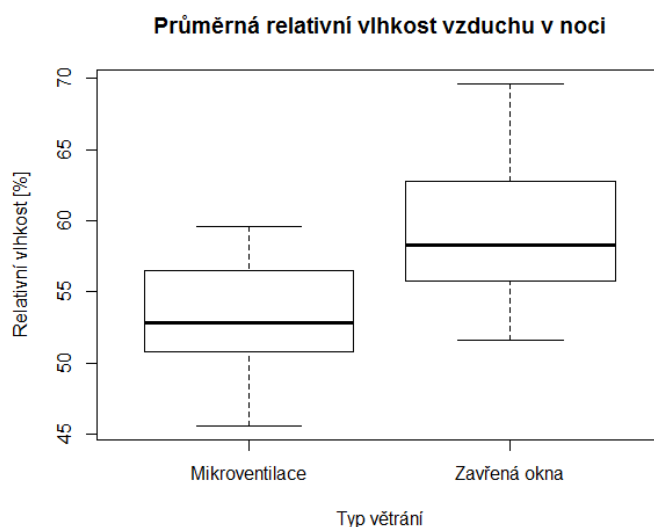
Obr. 62: Krabicový graf průměrné koncentrace CO₂ v noci

V Příloze F je znázorněna tabulka s naměřenými hodnotami teploty a relativní vlhkosti v ložnicích se zavřenými okny a v ložnicích s režimem mikroventilace (tab. 5), také je zde tabulka s venkovní teplotou a relativní vlhkostí vzduchu během měření (tab. 6). Na obr. 63 a 64 je krabicový graf znázorňující průměrnou teplotu a relativní vlhkost vzduchu během noci v ložnicích se zavřenými okny a s okny při režimu mikroventilace. Z obrázku je patrné, že průměrná teplota a relativní vlhkost vzduchu byla vyšší v ložnicích se zavřenými okny. Průměrná teplota se pohybovala mezi 18,8 – 22,3 °C v ložnicích s okny v režimu mikroventilace a mezi 20,8 – 23,3 °C v ložnicích se zavřenými okny. V průměru byla průměrná teplota vyšší o 5 % v ložnicích se zavřenými okny. Maximální teplota byla v průměru o 4 % vyšší v ložnicích se zavřenými okny a pohybovala se mezi 21,0 – 23,6 °C a

v ložnicích s režimem mikroventilace mezi 19,5 – 23,1 °C. Průměrná relativní vlhkost vzduchu byla vyšší o 12 % v ložnicích se zavřenými okny a pohybovala se mezi 51,6 – 69,6 %, v ložnicích s režimem mikroventilace se pohybovala mezi 46,6 – 59,6 %. Maximální relativní vlhkost byla o 9% vyšší v ložnicích se zavřenými okny a pohybovala se mezi 53,2 – 70,5 %, v ložnicích s režimem mikroventilace se pohybovala mezi 48,8 – 62,3 %.



Obr. 63: Krabicový graf průměrné teploty v noci



Obr. 64: Krabicový graf průměrné relativní vlhkosti vzduchu v noci

7.3.1 Statistické zpracování – režim mikroventilace

V rámci zpracování výsledků bylo provedeno statistické zpracování naměřených dat stejným způsobem jako v případě koncentrace CO₂, intenzity větrání, teploty a relativní

vlhkosti měřené v Sezimově Ústí. Na porovnání dat byl použit dvouvýběrový Wilcoxonův test a dvouvýběrový t – test (či dvouvýběrový Welchův test), oba dva testy prokázaly statisticky významný rozdíl v naměřených koncentracích CO₂ a intenzitě větrání mezi ložnicemi se zavřenými okny a s okny v režimu mikroventilace. Hodnota p byla menší než hladina významnosti 5%. Statisticky významný rozdíl byl zjištěn i při testování dat naměřené teploty a relativní vlhkosti vzduchu mezi ložnicemi se zavřenými okny a s okny v režimu mikroventilace.

7.4 Spotřeba energie

Jak již bylo řečeno výše, má zateplování (výměna starých netěsných dřevěných oken za nová těsná plastová okna) kladný vliv na úsporu energie. Roční hodnoty nakoupené a prodané TE včetně ztráty systému CZT v letech 1997 – 2014 jsou v níže uvedené tabulce IX [57].

Tab. IX: Roční hodnoty nakoupené a prodané tepelné energie včetně ztráty systému CZT v letech 1997 – 2014

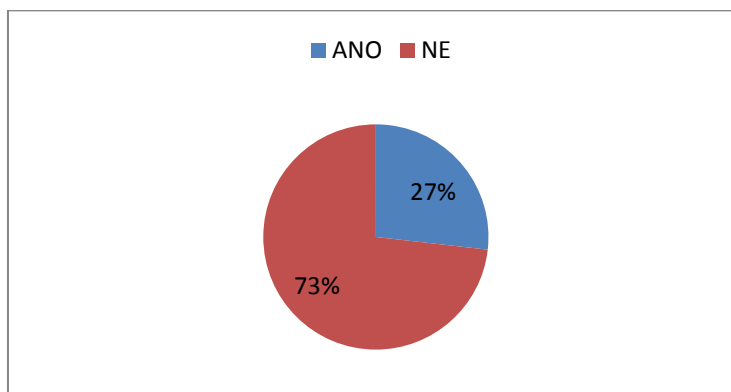
Rok	Nákup TE [GJ]	Prodej TE [GJ]	Ztráta [%]	Průměrná roční teplota [°C]
1997	186 611	135 668	27,3	
1998	198 171	137 009	30,9	
1999	185 257	133 393	28,0	
2000	183 151	125 092	31,7	
2001	170 815	124 729	27,0	
2002	129 901	111 563	14,1	9,6
2003	134 244	109 800	18,2	9,4
2004	119 831	102 873	14,2	8,6
2005	111 895	95 289	14,8	8,6
2006	104 960	88 679	15,5	8,8
2007	98 769	81 065	17,9	9,7
2008	97 712	83 461	14,6	9,3
2009	95 702	82 156	14,2	8,9
2010	102 685	87 943	14,4	7,9
2011	88 414	74 367	15,9	9,0
2012	87 166	74 350	14,7	9,6
2013	87 311	73 677	15,6	9,3
2014	74 080	63 182	14,7	10,5

Z tabulky IX je patrné, že přechod z teplotního média páry na horkou vodu v roce 2001 vedl k podstatnému snížení ztrát TE. K dalšímu poklesu odběru TE docházelo již jen vlivem úspor na straně odběratelů, a to instalací termostatických ventilů s regulačními hlavice na otopných tělesech - radiátorech, vyvážením otopných soustav a postupnou výměnou oken a zateplením fasád v některých objektech. S předpokladem [129], že struktura a počet odběratelů TE se nezměnila, můžeme porovnat množství prodané TE v přibližně klimaticky shodných obdobích let 2002 a 2012 (průměrná roční teplota 9,6 °C, viz. zelené označení v tabulce), let 2004 a 2005 (průměrná roční teplota 8,6 °C, viz. žluté značení v tabulce) a let 2008 a 2013 (průměrná roční teplota 9,3 °C, viz. červené značení v tabulce). Viditelný pokles odběru tepla byl vždy způsoben zateplením zásobovaných objektů. Zateplení zajistilo požadované snížení energetické náročnosti budov a tím i snížení spotřeby TE.

7.5 Dotazníkové šetření

Níže jsou uvedené kladené otázky a výsledky dotazníkového šetření viz obrázek 65 - 72 a tabulka X – XVII.

- 1) Pokud jste bydleli v bytě před výměnou starých dřevěných oken za nová plastová okna, cítíte zvýšení vlhkosti uvnitř Vašeho bytu po této výměně oken?

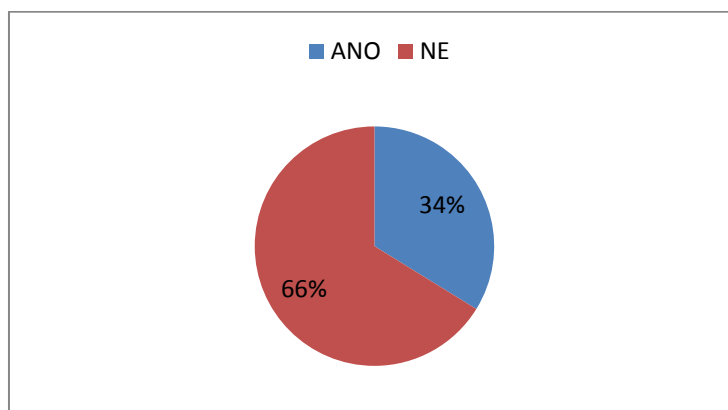


Obr. 65: Graf odpovědí na otázku č. 1 (relativní četnost vyjádřená v procentech)

Tab. X: Absolutní četnosti odpovědí na otázku č. 1

ANO	134
NE	366

- 2) Cítíte zhoršení vnitřního ovzduší (více vydýchaný vzduch) po výměně starých dřevěných oken za nová plastová okna?

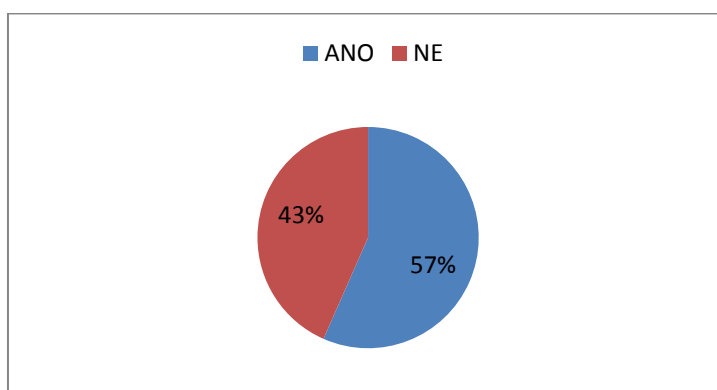


Obr. 66: Graf odpovědí na otázku č. 2 (relativní četnost vyjádřená v procentech)

Tab. XI: Absolutní četnosti odpovědí na otázku č.2

ANO	169
NE	331

- 3) Musíte častěji větrat než před výměnou oken?

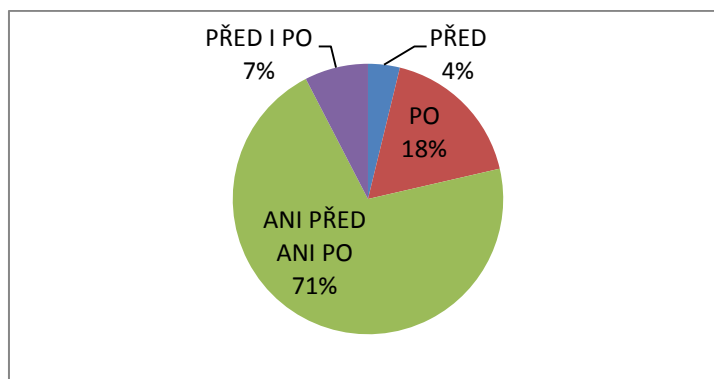


Obr. 67: Graf odpovědí na otázku č. 3 (relativní četnost vyjádřená v procentech)

Tab. XII: Absolutní četnosti odpovědí na otázku č. 3

ANO	283
NE	217

4) Vyskytly se ve Vašem bytě plísň po výměně oken nebo před ní?

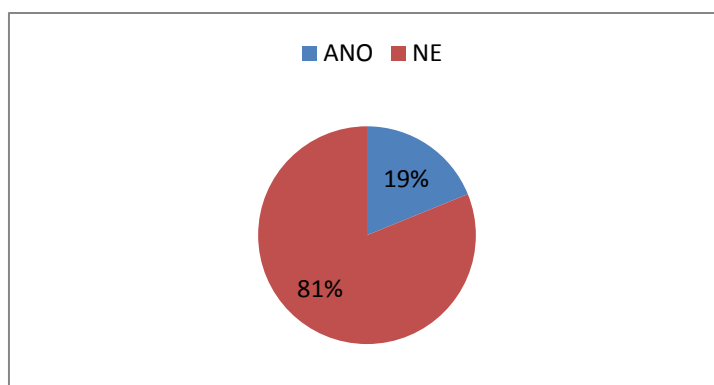


Obr. 68: Graf odpovědí na otázku č. 4 (relativní četnost vyjádřená v procentech)

Tab. XIII: Absolutní četnosti odpovědí na otázku č. 4

PŘED	19
PO	88
ANI PŘED ANI PO	355
PŘED I PO	38

5) Pokud jste bydleli v budově bez zateplené fasády, cítíte zvýšení vlhkosti uvnitř Vašeho bytu po zateplení fasády?

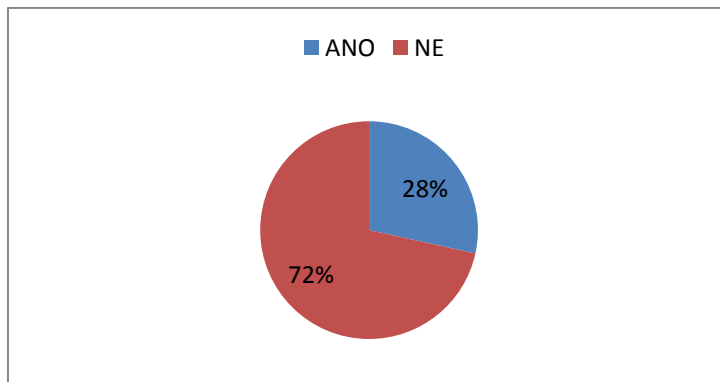


Obr. 69: Graf odpovědí na otázku č. 5 (relativní četnost vyjádřená v procentech)

Tab. XIV: Absolutní četnosti odpovědí na otázku č. 5

ANO	59
NE	254

- 6) Pokud jste bydleli v budově bez zateplené fasády, cítíte zhoršení vnitřního ovzduší (více vydýchaný vzduch) uvnitř Vašeho bytu po zateplení fasády?

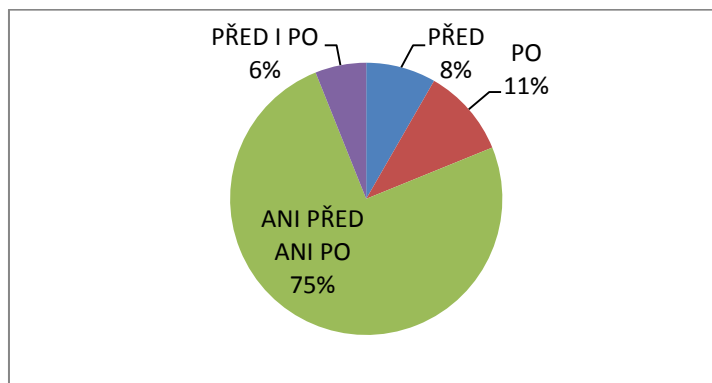


Obr. 70: Graf odpovědí na otázku č. 6 (relativní četnost vyjádřená v procentech)

Tab. XV: Absolutní četnosti odpovědí na otázku č. 6

ANO	89
NE	224

- 7) Vyskytly se ve Vašem bytě plísňe po zateplení fasády nebo před ní?

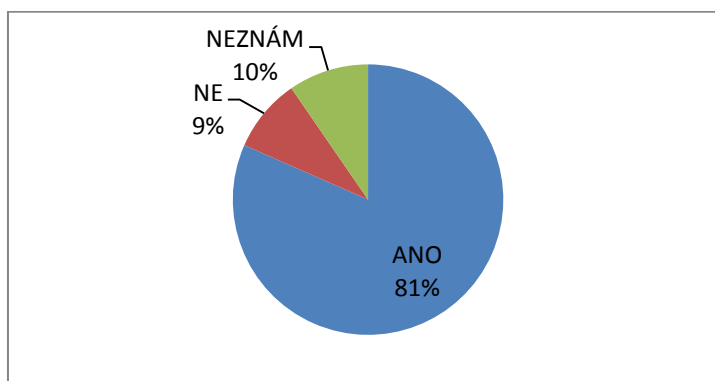


Obr. 71: Graf odpovědí na otázku č. 7 (relativní četnost vyjádřená v procentech)

Tab. XVI: Absolutní četnosti odpovědí na otázku č. 7

PŘED	26
PO	33
ANI PŘED ANI PO	235
PŘED I PO	19

8) Využíváte možnost mikroventilace, kterou je možno nastavit u plastových oken?



Obr. 72: Graf odpovědí na otázku č. 8 (relativní četnost vyjádřená v procentech)

Tab. XVII: Absolutní četnosti odpovědí na otázku č. 8

ANO	408
NE	44
NEZNÁM	48

Z dotazníku plyne, že něco málo přes čtvrtinu lidí pociťuje po výměně starých dřevěných oken za nová plastová okna zvýšení vlhkosti ve svém obydlí, $\frac{3}{4}$ lidí naopak zvýšení vlhkosti nepociťují. Co se týká zhoršení vnitřního ovzduší a pocitu vydýchaného vzduchu, tak to po výměně oken pociťuje více lidí, než v případě zvýšení vlhkosti, a to třetina dotazovaných. Zvýšenou potřebu větrání po výměně oken pociťuje skoro 60% dotazovaných. Co se týká výskytu plísní, tak u 71% respondentů se plísně nevyskytují vůbec (před a ani po zateplení) a u 18% respondentů se objevily právě po výměně oken. Co se týká zvýšení vlhkosti po zateplení fasády, výsledky jsou trochu odlišné, než po výměně oken, tedy necelá pětina respondentů pocítila zvýšenou vlhkost, ale zbylí respondenti tuto změnu nezaznamenali. Z toho lze usuzovat, že větší vliv na pohodu prostředí má podle respondentů právě výměna oken. Necelá třetina respondentů pociťovala zhoršení vnitřního ovzduší po zateplení fasády, po výměně oken pociťovalo tento pocit více než třetina respondentů. Výskyt plísní byl podle respondentů ovlivněn zateplením fasády méně, než po výměně oken. Dobrou zprávou je, že 81% respondentů s plastovými okny využívá režimu tzv. mikroventilace, avšak 10% respondentů neví, co to režim mikroventilace je a jak se využívá, což je poměrně vysoké číslo vzhledem k tomu, jak může tento režim pozitivně ovlivnit IAQ, co se koncentrace oxidu uhličitého týká. Tento dotazník se nedá zcela jistě vztáhnout na celorepublikovou úroveň, ale

určitě má jistou vypovídací schopnost o tom, jak lidé zateplování svých domů vnímají a jak vnímají změny vnitřního prostředí v důsledku těchto změn.

8. DISKUZE

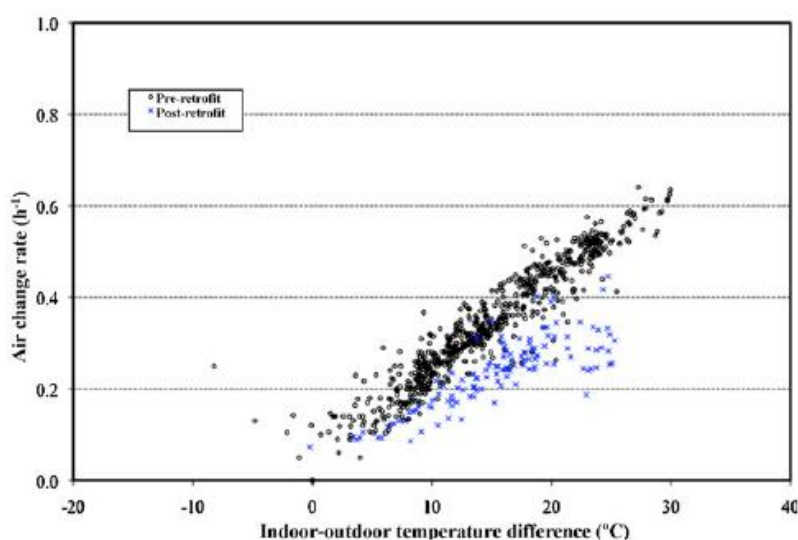
V prostorách bytů - domácností se měření kvality vnitřního ovzduší provádí zřídka, a to především kvůli tomu, že kvalita vnitřního ovzduší (koncentrace CO_2 , intenzita výměny vzduchu apod.) není v naší legislativě zatím nikterak zakotvena. Dalším důvodem je, že měření IAQ provádí soukromé firmy na přání vlastníka bytu a nemohou tedy výsledky dále poskytovat a zveřejňovat. Měření intenzity výměny vzduchu a koncentrace CO_2 se provádí především ve veřejných budovách, jako jsou např. školy, či kanceláře. Na začátek diskuze je nutné podotknout, že výsledky měření koncentrace CO_2 a intenzity výměny vzduchu jedné konkrétní studie se podle Derbeyeho et al. se nevztahují ke všem zatepleným budovám obecně. Záleží na mnoha faktorech, např. na klimatických podmínkách, konstrukci budovy, vnitřních zdrojích znečištění, na socio – ekonomické situaci a zvycích lidí žijících v budově [30]. Rozdílná intenzita výměny vzduchu (a tím pádem i koncentrace CO_2 , teplota a relativní vlhkost) mezi studiemi je tedy dána různým klimatem, chováním obyvatel, výběrem metodiky, typem obydlí a také výběrem ročního období, kdy se měření provádí [11]. Výměnu vzduchu v budově však podle mnoha studií ovlivňuje silně právě lidské chování [12, 30, 43]. Existují však podobné studie, které nám dávají určitý srovnatelný pohled na vliv zateplování na kvalitu vnitřního ovzduší. Měření pro tuto diplomovou práci bylo uskutečněno v období topné sezóny, tedy v období, kdy lidé nejméně větrají a jsou tak více vystaveni vyšším koncentracím CO_2 . Místnost - ložnice byla vybrána proto, protože se zde lidé chovají během spánku obdobně a jednotlivé měřené parametry se dají tedy porovnat mezi jednotlivými byty. Navíc během spánku jsou lidé nepřetržitě vystaveni vlivu vyšších koncentrací CO_2 často i po dobu delší než 8 hodin a v chladných měsících většinou spí v kompletně uzavřené místnosti. K porovnání výsledků této práce byly vybrány zejména studie monitorujících ložnice a to především na podzim, či v zimě a používající podobnou metodu měření. Jak uvádí Turunen et al., zatím nám chybí dostatečné znalosti v oblasti „normálních“ koncentrací ZL ve vnitřním ovzduší ve spojitosti s naším zdravím a výkonem. I podle většiny jiných níže citovaných autorů je potřeba více výzkumů v oblasti monitorování vnitřního prostředí, především charakterizovat znečištění a expozici spojenou se zdravotními riziky. Více informací je potřeba zajistit v oblasti přenosu ZL z vnějšího prostředí do vnitřního a to hlavně v oblastech s velmi znečištěným venkovním ovzduším, které se vyskytuje např. v Číně [145]. Lepší

porozumění těmto aspektům by nám zcela jistě pomohlo vypořádat se s řadou zdravotních rizik spojených právě se špatnou IAQ [126]. Obyvatelé domů jsou však více citliví na ekonomické aspekty, spotřebu tepla, což pak negativně ovlivní IAQ – méně větrají apod.. Perreti et al. tvrdí, že v současné době stále častěji dochází k trade – off mezi ekonomickými aspekty, tepelnou pohodou a IAQ a právě ekonomické aspekty často převládají nad IAQ [99]. Podle Frontczaka et al. jsou nejvíce ohrožené právě byty a tzv. sociální druh bydlení, kde dochází na úkor úspory energie ke snížení kvality vnitřního prostředí vlivem chování obyvatel [43]. Obytné budovy byly tradičně větrány skrze infiltraci, řízenou především rozdílem vnitřní a vnější teploty, která probíhala skrze netěsnosti v budově. K ní však po zateplení a utěsnění pláště budovy nemůže docházet. V poslední době je tak stále více využíván systém mechanické ventilace a to zejména proto, aby zajistil dostatečné množství čerstvého vzduchu a úroveň větrání. Avšak i mechanická ventilace závisí na manuálním nastavení či časovačích a můžeme ji nastavit částečně dle svých potřeb, ve většině zateplených budov však zcela chybí, a tak k dostatečnému větrání nedochází [80].

8.1 Intenzita výměny vzduchu a koncentrace CO₂

Intenzita výměny vzduchu v ložnicích při zavřených oknech i dveřích nabývala v ložnicích s plastovými okny nízkých hodnot mezi 0,03 – 0,13 h⁻¹, naopak u ložnic s dřevěnými okny se hodnoty intenzity výměny vzduchu pohybovaly mezi 0,21 – 0,50 h⁻¹. V ložnicích s plastovými okny měly takto nízké hodnoty intenzity výměny vzduchu za důsledek vysoké hodnoty CO₂ během spánku. Podle standardu ASHRAE 62.1 – 2010 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) značí překročení vnitřní koncentrace CO₂ o více než 700 ppm než je venkovní koncentrace oxidu uhličitého (v Sezimově Ústí byla denní průměrná koncentrace CO₂ naměřena 450 ppm) nedostatečný ventilační systém v budově [6]. V případě plastových oken byla taková hodnota překročena i více než 3 x. Výše uvedené výsledky měření intenzity výměny vzduchu v bytech s plastovými okny neodpovídají ani požadavkům na větrání uvedených v normě ČSN EN 15665/Z1 2011, která uvádí minimální hodnotu intenzity větrání obytných budov 0,3 h⁻¹ a doporučenou hodnotu 0,5 h⁻¹ [94]. Také podle normy ČSN 73 0540-2/2002 leží požadovaná intenzita větrání pro obytné a obdobné budovy, přepočítaná z minimálního množství potřebného větracího vzduchu, obvykle mezi hodnotami 0,3 – 0,6 h⁻¹ [95]. Ani v jednom z bytů s plastovými okny nebylo dosaženo požadované minimální, ani doporučené hodnoty intenzity výměny vzduchu. Mnohem lépe jsou na tom byty s dřevěnými okny, kdy ve většině bytů (po zaokrouhlení na jedno desetinné místo 86 %) byla dosažena minimální intenzita výměny

vzduchu. Podobné hodnoty intenzity výměny vzduchu byly naměřeny i ve studii Vymětalíka a Zwienera, kteří provedli studii v panelovém domě, kdy byla měřena intenzita výměny vzduchu před a po výměně oken. Před výměnou oken byla intenzita výměny vzduchu v uzavřené místnosti $0,36 \text{ h}^{-1}$ a po výměně oken klesla na $0,07 \text{ h}^{-1}$ [133]. Podle Cifrnice et al. dojde po výměně starých oken za nová plastová k poklesu intenzity výměny vzduchu prakticky téměř na nulu [int 4]. Stejný závěr uvádí i Novák, který udává, že nová plastová okna jsou tak těsná, že neumožňují plnit ani minimální hygienické požadavky [89]. Také Rubin provedl měření v obytných budovách s novými plastovými okny a uvádí hodnoty výměny vzduchu maximálně $0,15 \text{ h}^{-1}$ [109]. Několik studií také uvádí, že intenzita výměny vzduchu je často ukazatelem výskytu plísní, alergenů a zvýšených koncentrací CO_2 , formaldehydu či radonu a má vliv na zdraví a pohodu obyvatel [36, 37, 136]. Nabinger a Persily zkoumali vliv utěšňování budovy na intenzitu větrání a výsledek jejich studie je zřejmý na obr. 73.



Obr. 73: Intenzita výměny vzduchu před a po tepelně izolační rekonstrukci domu jako funkce teplotního rozdílu uvnitř – vně (při nízké rychlosti větru), air change rate – intenzita výměny vzduchu; indoor – outdoor temperature difference – rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou;

- po izolační rekonstrukci, • před izolační rekonstrukcí [80]

Maximální koncentrace CO_2 naměřené v rámci studie k této práci se během noci pohybovaly v ložnicích s plastovými okny mezi 2005 – 3920 ppm a v ložnicích s dřevěnými okny mezi 1149 – 2580 ppm. Průměrné koncentrace CO_2 se pohybovaly mezi 1716 – 3197 ppm v ložnicích s plastovými okny, oproti tomu v ložnicích s dřevěnými okny mezi 796 – 2125 ppm. Podle vyhlášky č. 20/2012 Sb., o technických požadavcích na stavby, by neměla být překročena hodnota 1500 ppm a podle Pettenkoferova kritéria by neměla být

překročena hodnota 1000 ppm. Podle ASHRAE je limitní koncentrace CO₂ 1800 mg/m³ (1000 ppm) [SS, 6, 87, 101]. K překročení koncentrace CO₂ 1000 i 1500 ppm došlo u všech bytů s plastovými okny. K překročení 1000 ppm došlo také u všech bytů s dřevěnými okny a k překročení 1500 ppm u 59% bytů s dřevěnými okny. K překročení koncentrace 2000 ppm došlo u všech bytů s plastovými okny a u 9 % bytů s dřevěnými okny. U 59 % bytů s plastovými okny došlo dokonce k překročení 3000 ppm. V případě bytů s dřevěnými okny nedošlo v žádném případě k překročení koncentrace 3000 ppm. Výše uvedené hodnoty potvrzují významný vliv plastových oken na IAQ. Statistická analýza prokázala statisticky významný rozdíl mezi intenzitou větrání, koncentrací CO₂, teplotou a relativní vlhkostí mezi ložnicemi s plastovými a dřevěnými okny.

Velice podobné měření jako v této diplomové práci provedli McGill et al., kteří měřili teplotu, relativní vlhkost a koncentraci CO₂ v ložnicích v osmi nově postavených stavebách s novými těsnými okny a porovnávali byty s přirozeným větráním a mechanickou ventilací s rekuperací tepla. Ve všech ložnicích byly v noci překročeny hodnoty 1000 ppm, jak v bytech s mechanickou ventilací, tak v bytech s přirozenou ventilací. Při zavřených oknech i dveřích byly koncentrace CO₂ nejvyšší, a to např. v bytech s přirozenou ventilací i přes 4400 ppm. V zimě byly koncentrace v ložnici oproti létu daleko vyšší a nejvyšší právě při zavřených oknech i dveřích. V zimě byla průměrná koncentrace CO₂ v ložnici s přirozenou ventilací a se zavřenými dveřmi i okny 1901 – 2744 ppm a maximální koncentrace 1521 – 4456 ppm. Výsledné koncentrace za těchto podmínek jsou srovnatelné s koncentracemi naměřenými v bytech s plastovými okny v této diplomové práci. Mechanická ventilace má podle autorů příznivý vliv především na nižší relativní vlhkost a koncentraci CO₂ v létě i v zimě, avšak nezajistila doporučené koncentrace CO₂ a to nejspíš v důsledku selhání systému, špatné instalace, či nesprávného nastavení nebo užívání. Většina obyvatel domácností ani nevěděla, kde je ovládací systém pro mechanickou ventilaci, či jak změnit její nastavení. Většina lidí si také stěžovala na přehřátou domácnost během léta, což je podle autorů typické pro nově postavené budovy [75]. Langer a Bekö také měřili intenzitu výměny vzduchu, teplotu a relativní vlhkost vzduchu a to ve 157 rodinných domech a 148 bytech během otopné sezóny ve Švédsku. Podle jejich studie je intenzita výměny vzduchu vyšší právě v domácnostech s mechanickou ventilací, než v domácnostech s přirozeným způsobem větrání [66]. Ke stejným závěrům došly i jiné studie [14, 110]. Vyšší intenzita výměny vzduchu byla naměřena v bytech oproti rodinným domům, ke stejnému závěru dospěly i další studie [52, 53, 96, 120]. To může být způsobeno tím, že více bytů má nainstalovaný nějaký typ mechanické ventilace [66]. Naopak v jiné studii Bekö et al. naměřili v bytech nižší intenzitu

výměny vzduchu než v rodinných domech [12], ke stejnému závěru došla i další studie těchto autorů [66]. Další studie zkoumající intenzitu větrání proběhla v 6ti nově postavených velmi těsných budovách s plastovými okny ve Francii, kde Derbez et al. měřili teplotu, relativní vlhkost, intenzitu výměny vzduchu a koncentraci CO_2 v ložnicích během léta a zimy spolu se zapnutou mechanickou ventilací s rekuperací tepla. Pokud byla ventilace mimo provoz, byla ventilační rychlost ve všech ložnicích pod $0,05 \text{ h}^{-1}$ (jako v případě intenzity přirozeného větrání v této práci), naopak se zapnutou mechanickou ventilací se zvýšila na $0,1 - 1 \text{ h}^{-1}$ podle zvoleného výkonu ventilace (nízký, střední, vysoký). Naměřené koncentrace CO_2 byly prokazatelně menší v průběhu léta zejména v důsledku častějšího větrání a otevírání oken. Medián CO_2 se pohyboval v ložnici se zapnutou mechanickou ventilací pod 1000 ppm. Nejnižší koncentrace ZL byly naměřeny tam, kde byla ventilační rychlost největší ($0,9 \text{ h}^{-1}$) [30]. Další podobné měření bylo provedeno v Portugalsku v domově důchodců na podzim a v zimě, kdy Almeida – Silva et al. měřili relativní vlhkost, teplotu vzduchu, koncentraci oxidu uhličitého a intenzitu výměny vzduchu v ložnicích v období dvou měsíců otopné sezóny. Průměrné hodnoty v ložnici byly vyšší než 1800 mg/m^3 (1000 ppm), což je limit, s průměrnou koncentrací 3160 mg/m^3 (1757 ppm) a maximální koncentrací až 4250 mg/m^3 (2363 ppm). Je nutné podotknout, že se nejednalo o měření v plně uzavřené místnosti, ale o měření intenzity větrání i při otevřených dveřích a oknech. Intenzita výměny vzduchu v ložnici se pohybovala mezi $0,2 - 2 \text{ h}^{-1}$, přičemž národní standard v Evropě je $0,5 \text{ h}^{-1}$. V 60 % ložnic byl překročen limit koncentrace CO_2 1800 mg/m^3 [2]. Další velice podobné měření CO_2 provedl Bekö et al. v 500ti dětských ložnicích (pokojích) v Dánsku. Tato studie zkoumala vliv koncentrace CO_2 a intenzity větrání na astma a alergie u dětí. Koncentrace CO_2 a intenzita větrání byla měřena kontinuálně po dobu 2,5 dne během noci. Bylo zjištěno, že 57 % ložnic nedosahovalo minimální doporučené intenzity výměny vzduchu $0,5 \text{ h}^{-1}$ a jen 32 % dětských ložnic mělo průměrnou koncentraci CO_2 pod 1000 ppm během měřené noci a 23 % ložnic mělo alespoň dvacetiminutový interval během noci, kdy koncentrace CO_2 přesáhla 2000 ppm a 6 % kdy koncentrace CO_2 byla nad 3000 ppm. Podle této studie byla intenzita výměny vzduchu vyšší s více osobami spícími v ložnici, protože kvůli „vydýchanějšímu“ vzduchu lidé více větrají a otevírají okna a dveře, venkovní teplota na intenzitu naopak neměla takový vliv. Se zavřenými dveřmi i okny se průměrná intenzita větrání pohybovalo okolo $0,24 \text{ h}^{-1}$ – není uveden typ oken [11]. Intenzitu výměny vzduchu zkoumají i jiné studie z Dánska, Švédska a Norska [13, 37, 64, 142].

8.2 Relativní vlhkost a teplota vzduchu

Experimentální měření provedené v rámci této diplomové práce prokázalo statisticky významný rozdíl mezi teplotou a relativní vlhkostí v ložnicích s dřevěnými a plastovými okny. Intenzita výměny vzduchu má podle mnoha studií vliv na vlhkost uvnitř budov, nízká intenzita výměny vzduchu může být spojována s vyšší vnitřní vlhkostí vzduchu a rizikem vzniku plísní [36, 37, 52, 122, 137]. Relativní vlhkost naměřená ve studovaných ložnicích s plastovými okny byla vyšší než relativní vlhkost naměřená v ložnicích s dřevěnými okny. Průměrná relativní vlhkost se v ložnicích s plastovými okny pohybovala mezi 41,7 – 69,5 % a u dřevěných oken mezi 29,8 – 56,1 %. Maximální relativní vlhkost se pohybovala mezi 30,5 – 61,7 % v ložnicích s dřevěnými okny a mezi 43,2 – 71,3 % v ložnicích s plastovými okny. Průměrná teplota se v ložnicích s plastovými okny pohybovala mezi 19,4 – 24,7 °C a mezi 14,7 – 22,3 °C v ložnicích s dřevěnými okny. Maximální teplota se pohybovala mezi 19,9 – 25,1 °C v ložnicích s plastovými okny a v ložnicích s dřevěnými okny mezi 15,1 – 22,6 °C. Jak uvádí centrum pro stavbu pasivních domů, tak pokud je výměna vzduchu menší než $0,1 \text{ h}^{-1}$, relativní vlhkost vzduchu může snadno stoupnout nad hodnotu 80%, což vede ke vzniku plísní – takto nízkou intenzitu větrání vykazovala většina ložnic s plastovými okny. Naopak příliš vysoká výměna vzduchu zejména při nízkých teplotách venku, kde je vzduch s nižším obsahem vody, vede k vysoušení vnitřního prostředí, které je největší v zimním období. Stejný následek může mít i přetápění, které vede k poklesu relativní vlhkosti vzduchu pod 20%, což je fyziologicky naprosto nevhodné prostředí pro lidský organismus a to vše pak vede ke zvýšené nemocnosti např. v důsledku vysychání sliznic a ohrožení horních cest dýchacích [109]. Doporučená minimální výměna vzduchu se pohybuje mezi $0,3 - 0,6 \text{ h}^{-1}$, aby se tak zabránilo kondenzaci vodní páry na chladnějších místech místnosti a následnému vzniku plísní a zároveň se zajistila přijatelná koncentrace CO_2 ve vnitřním prostředí [int 12]. Co se týká zvýšené vlhkosti, tak ta může mít podle některých studií i pozitivní vliv na kvalitu vnitřního ovzduší, např. podle Deshmukha et al. a Johnsona et al. má zvýšená vlhkost pozitivní vliv na odstraňování atmosférických částic a redukci množství prachu v ovzduší a zabraňuje také opětovnému zvíření prachu [31, 60]. Wargocki a Wyon spojují teplotu a intenzitu výměny vzduchu s výkonností, v jejich studii zkoumali vliv snížení teploty či zvýšení intenzity výměny vzduchu na lidský výkon a došli k závěru, že oba dva faktory pozitivně ovlivňují výkon člověka [136].

K podobným hodnotám relativní vlhkosti a teploty v zimním období došli ve své studii McGill et al., kteří měřili tyto parametry v ložnicích osmi nově postavených bytových domů

s plastovými okny. V zimě se podle této studie průměrná teplota v ložnici pohybovala mezi 19,9 – 21,6 °C a relativní vlhkost mezi 52 – 60,4 %, maximální teplota mezi 21,3 – 23,7 °C a relativní vlhkost mezi 58,3 – 65,9 % [75]. Derbez et al. provedli měření v budovách s plastovými okny a teplota se pohybovala mezi 20 – 22 °C v zimě [75]. Podle studie Langer a Beka byla průměrná teplota nižší v rodinných domech, než v bytech – 21,4 °C versus 22,5 °C, což mohlo být způsobeno sdílením zdí se sousedy v obytných budovách, kde se byty nachází a nebo také uživateli bytů, kterými jsou často starší lidé, kteří potřebují vyšší tepelnou pohodu [66]. Almeida – Silva provedli měření relativní vlhkosti v ložnicích domovů důchodců a v zimě se relativní vlhkost pohybovala mezi 48 -75%, jednalo se o zateplené budovy [2]. Více k teplotě a relativní vlhkosti viz tabulka XVIII.

8.3 Režim mikroventilace u plastových oken

Režim mikroventilace měl statisticky významný vliv na snížení koncentrace CO₂ v místnosti a zvýšení intenzity výměny vzduchu v porovnání se zcela uzavřenou ložnicí. Režim mikroventilace měl také statisticky prokazatelný vliv na pokles teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Intenzita výměny vzduchu byla v případě mikroventilace v průměru 6x vyšší v porovnání se zavřenými okny. Maximální koncentrace CO₂ se pohybovala mezi 1420 – 2250 ppm a průměrná mezi 1329 – 2154 ppm při režimu mikroventilace, při zavřených oknech byly maximální koncentrace v průměru o 67 % vyšší a pohybovaly se mezi 2620 – 3565 ppm a průměrné o 69 % vyšší a pohybovaly se mezi 2262 – 3022 ppm. Průměrná relativní vlhkost vzduchu v noci klesla při režimu mikroventilace o 12 % a průměrná teplota o 5 %. K podobným výsledkům došla např. studie Robenka, kdy v ložnici se zavřenými okny, kde spali dvě osoby, překročila maximální koncentrace CO₂ v noci 3000 ppm, oproti tomu při režimu mikroventilace byla maximální koncentrace nižší než 2600 ppm [int 24]. Při jiné studii, provedené Odehnalem v panelovém domě, byla naměřena maximální koncentrace CO₂ v ložnici se dvěma spícími lidmi při zavřených plastových oknech skoro 4500 ppm, při mikroventilaci však byla maximální koncentrace nižší než 1600 ppm a s uzavřenými dřevěnými okny se pohybovala pod 3000 ppm [int 20]. Mikroventilace má však také své nevýhody, snižuje zvukotěsnost a prachotěsnost obálky budovy a dále je její využívání během roku omezené, především v chladných měsících, hlavně v zimě, kdy by docházelo k pronikání studeného venkovního vzduchu do budovy [int 5].

8.4 Úspora energie po zateplení pláště budovy

V této práci bylo rovněž provedeno stručné porovnání vlivu zateplení objektů na spotřebu tepelné energie studované lokality v Sezimově Ústí. Bylo porovnáno množství prodané TE v přibližně klimaticky shodných letech. Podle prodané energie je patrné, že spolu s postupujícím zateplováním klesala i spotřeba energie. Ng et al. ve své studii tvrdí, že zateplení budovy se ušetří 5 – 12% spotřeby energie a omezí také průnik venkovního znečištění do budovy [87]. Podobnou metodou zkoumal úsporu energie spojenou s chlazením a topením i Nabinger et al. a to skrze spotřebu plynu pro vytápění a elektrické energie pro chlazení [80]. Nabinger a Persili tvrdí, že obecně je snazší budovu postavit energeticky méně náročnou, než se snažit později skrze tepelně izolační opatření snížit její spotřebu energie [80].

8.5 Další studie zabývající se měřením CO₂ a intenzitou výměny vzduchu

Měřením intenzity větrání a koncentrace CO₂ se zabývají spíše studie ve veřejných budovách, než v bytech – domácnostech, důvody jsou uvedeny na začátku této kapitoly. Měření ventilační rychlosti a tepelných podmínek provedli v 56 finských školách Turunen et al. [126]. Spolu s měřením probíhalo i dotazníkové šetření týkající se zdraví, největším problémem ve školách je podle tohoto výzkumu hluk a špatná IAQ. [126]. Ng et al. provedli studii modelující koncentraci CO₂ v 16ti komerčních budovách (kanceláře, restaurace, škola, hotel atd.) a tvrdí, že vysoké koncentrace CO₂ jsou významným problémem a to především u budov, kde se vyskytuje současně více lidí. Ng et al. také tvrdí, že pokud chceme zvyšovat energetickou účinnost budov, musíme zachovat dobrou IAQ a k tomu nám mohou značně pomoci právě modelovací nástroje [85]. Smedje et al. provedli měření koncentrace CO₂ v několika školách ve Švédsku tvrdí, že špatná kvalita vnitřního prostředí má negativní vliv na soustředění a výkon studentů [118]. Turanjanin et al. ve své studii uvádí, že ventilační rychlost v učebnách s částečně vyměněnými okny byla 0,44 – 0,66 h⁻¹ a naopak v učebnách bez jakýchkoliv úprav pláště budovy 1,32 – 1,45 h⁻¹, což potvrzuje závěr této práce, že plastová okna a zateplení má obecně negativní vliv na intenzitu větrání [125]. Tito autoři se však domnívají, že pokud je budova zateplena, pak obyvatelé více větrají, protože nemají takové obavy o energetické ztráty s větráním spojené [125]. Autoři se také dále domnívají, že venková koncentrace CO₂ je lepší tam, kde jsou budovy napojené na CZT místo na vlastní zdroj tepla, což ovlivňuje i vnitřní koncentraci CO₂ [125]. Podle You et al., kteří měřili intenzitu výměny vzduchu a koncentraci CO₂ v ubytovnách, bytech, učebnách, čítárnách a

zasedacích místnostech, byla koncentrace CO₂ víc jak polovinu měřeného času nad 1000 ppm a ve třídách a zasedacích místnostech dokonce 80% času nad 2000 ppm [145]. Langer et al. provedli měření teploty, vlhkosti a intenzity výměny vzduchu ve 21 běžných a 20ti pasivních domech. Největší rozdíly zjistili mezi vlhkostí a ventilační rychlostí během ročních období. Vyšší intenzita výměny vzduchu i vlhkost byla naměřena v létě a nižší v zimě. Koncentrace CO₂ byly naopak nižší během léta [67]. Limit 1000 ppm byl překročen v 60% pasivních domů a 67% běžných domů [67]. Souhrn některých studií je uveden v tabulce XVIII, jedná se o různé studie měřící koncentraci oxidu uhličitého, intenzitu větrání, teplotu a relativní vlhkost vzduchu, avšak většinou byly tyto parametry měřeny v průběhu celého dne (nikoliv jen noci) a za běžného chodu tzn. při pobytu lidí a jejich činnostech jako např. vaření a také při běžném otevírání oken a dveří (nikoliv v plně uzavřené místnosti).

Cílem této diplomové práce bylo zjistit a kvantifikovat vliv plastových oken na intenzitu výměny vzduchu a koncentraci CO₂. Proto bylo nutné omezit jiné druhy větrání studované místnosti kromě přirozené intenzity větrání skrze infiltraci. Během měření intenzity výměny vzduchu tedy nesměla být otevřená okna ani dveře. V chladných měsících má většina domácností skoro stále zavřená okna a větrá pouze omezeně a málo intenzivně. Nutné je podotknout, že trochu jiná situace však nastává během léta, kdy lidé běžně otevírají okna a větrají s větší intenzitou a častěji, nejsou v bytě tedy kompletně uzavřeni. Dimitroulopoulos ve své studii vypracoval přehled studií zabývajících se intenzitou výměny vzduchu v Evropě a došel k závěru, že intenzita výměny vzduchu je nižší v zimě, oproti létu a také ve Skandinávských zemích, oproti zemím více na jihu [32]. Murray a Burnmaster došli také k závěru, že intenzita výměny vzduchu během léta bývá vyšší než intenzita výměny vzduchu během zimy. Vyšší intenzita výměny vzduchu je naměřena v létě v důsledku otevřených oken [79]. Jiné studie také uvádí, že vyšší intenzita výměny vzduchu se objevuje během léta [32, 79, 142]. Nižší ventilační rychlost v zemích na severu je způsobena tím, že v chladnějších oblastech lidé obecně méně větrají, aby zabránili tepelným ztrátám s větráním spojených. Ke stejným závěrům došel i Murra et al., kteří naměřili nižší ventilační rychlost v severních regionech oproti jižním regionům USA [79]. Intenzita výměny vzduchu také záleží na kvalitě venkovního prostředí, např. vysoký venkovní hluk či velké venkovní znečištění bude bránit uživatelům domácností ve větrání [66].

Tab. XVIII: Přehled některých studií měřících koncentraci CO₂, intenzitu větrání, teplotu a relativní vlhkost vzduchu (viz str. 99)

Studie	Místo studie	Období měření	Typ větrání	Studovaná místnost	Koncentrace CO ₂ [ppm]	Ventilační rychlost [h ⁻¹]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]
Tato diplomová práce	Česká republika	říjen 2015 - únor 2016	přírozené	ložnice	plastová okna - max noc 2005 - 3920, průměr noc 1716 - 3197	0,03 - 0,13	max noc 19,9 - 25,1; průměr noc 19,4 - 24,7	max noc 43,2 - 71,3; průměr noc 41,7 - 69,5
					dřevěná okna - max noc 1149 - 2580, průměr noc 796 - 2125	0,21 - 0,50	max noc 15,1 - 22,6; průměr noc 14,7 - 22,3	max noc 30,5 - 61,7; průměr noc 29,8 - 56,1
					zavřená plastová okna - max noc 2620 - 3565, průměr noc 2262 - 3022	0,03 - 0,07	max noc 21,0 - 23,6; průměr noc 20,8 - 23,3	max noc 53,2 - 70,5; průměr noc 51,6 - 69,6
					mikroventilace plastová okna - max noc 1420 - 2250, průměr noc 1329 - 2154	0,19 - 0,38	max noc 19,5 - 23,1; průměr noc 18,8 - 22,3	max noc 48,8 - 62,3; průměr noc 45,6 - 59,6
Vyměšalík et al. [133]	Česká republika	2007	přírozené	ložnice	NA NA	dřevěná okna 0,36 plastová okna 0,07	NA NA	NA NA
Almeida - Silva et al. [2]	Portugalsko - domovy důchodců počet	listopad - prosinec 2012	přírozené	ložnice	max 852 - 4250 ng/m ³ (474 - 2363 ppm), průměr 679 - 3000 ng/m ³ (378 - 1668 ppm)	0,2 - 2	16 - 25	48 - 75
Turanjanin et al. [125]	Srbsko - 3 školy	prosinec 2011 - duben 2012	přírozené a mechanické	obývací pokoj	max 913 - 3748 (ppm), průměr 570 - 2155 ng/m ³ (ppm)	0,7 - 2	16 - 25	44 - 74
Derbez et al. [30]	Francie - 7 novostaveb domů	prosinec 2011 - duben 2012	přírozené a mechanické	učebny	max 1604 - 3614; průměr 887 - 1727	0,47 - 1,45	NA	NA
McGill et al. [75]	Velká Británie - 8 novostaveb bytů	únor 2009 - červenec 2010	mechanické s rekuperací tepla	ložnice zima	max 1155 - 2030; průměr 622 - 1013	bez MVHR méně než 0,05, s MVHR 0,1 - 1,2 podle výkonu	max 22,6 - 33,6; průměr 19,7 - 21,8	max 41,2 - 45,3; průměr 30,5 - 34,7
				ložnice léto	max 861 - 1942; průměr 381 - 879		max 23,2 - 27,2; průměr 20,6 - 25,7	max 53,4 - 75,9; průměr 44,9 - 58,1
				ložnice léto	max 1244 - 4173; průměr 906 - 1639		max 23,9 - 24,9; průměr 22,5 - 24,5	max 53,4 - 67,2; průměr 49,5 - 57,6
				ložnice zima	max 1521 - 4456; průměr 1901 - 2744		max 21,3 - 23,7; průměr 19,9 - 21,6	max 58,3 - 65,9; průměr 52 - 60,4
McGill et al. [75]	Velká Británie - 8 novostaveb bytů	únor 2009 - červenec 2010	mechanické s rekuperací tepla	obývací pokoj léto	max 752 - 1679; průměr 599 - 760	NA	max 24,8 - 27,5; průměr 23,8 - 25	max 57,3 - 70,4; průměr 49 - 56,6
				obývací pokoj zima	max 1203 - 3427; průměr 800 - 1676	NA	max 24,7 - 27,9; průměr 21 - 23,9	max 52,6 - 62,7; průměr 46,3 - 53,4
				ložnice léto	max 664 - 1153; průměr 522 - 674	NA	max 22,6 - 25,9; průměr 21,5 - 24,5	max 50,5 - 56,9; průměr 46,7 - 53,8
				ložnice zima	max 1407 - 1578; průměr 763 - 969	NA	max 21,8 - 25,3; průměr 19,9 - 23,4	max 40,9 - 56,3; průměr 38 - 49,5
Langer et al. [66]	Švédsko	říjen 2007 - březen 2008	různý	obývací pokoj léto	max 764 - 2558; průměr 548 - 989	NA	max 25,3 - 28,1; průměr 23 - 25,2	max 51,4 - 55,3; průměr 45,2 - 51,1
				obývací pokoj zima	max 1070 - 1559; průměr - 662 - 1047	NA	max 26,2 - 27; průměr 22,6 - 24,1	max 53,6 - 53,3; průměr 30,3 - 43,4
				rodinné domy (157)	NA	0,37	34,3	21,4
				apartmány (148)	NA	0,5	30,3	22,5
Ng et al. [86]	USA	modelování v programu CONTAM 2012	mechanické	vše	max 1145 - 2433	0,43	31,8	21,9
Lee et al. [69]	Hong Kong	červenec - říjen 1999	přes den přírozené, v noci klimatizace	16 veřejných budov (restaurace, hotel, nemocnice, škola atd.) kuchyně obývací pokoj soutěrné	578 - 1046 průměr 520 - 780	NA NA	NA NA NA	NA NA NA
Beko et al. [11]	Dánsko - byty, řadové domy, rodinné domy - celkem 500	březen - květen 2008	přírozené	ložnice dětí v bytech	NA	0,62	21,4	NA
				ložnice dětí v řadových domech		0,54	NA	
				ložnie dětí v rodinných domech		0,62	NA	
						0,63	NA	
Youn et al. [145]	Čína - učebny, ubytovny, zasedací místnosti, byty	podzim - zima 2009	mechanické s rekuperací tepla Klimatizace, chlazení s s cirkulací vzduchu mechanické s rekuperací tepla mechanické s rekuperací tepla mechanické s rekuperací tepla	ubytovna	max 2466; průměr 1278	průměr 1,22	max 38,3; průměr 26,8	max 90; průměr 68,1
				učebny	max 5346; průměr 2580	průměr 1,37 a 1,10	max 30,4; průměr 20,1	max 76,5; průměr 65,1
				člárny	max 994; průměr 767	průměr 1,91	max 28,2; průměr 22,1	max 90; průměr 60,2
				zasedací místnosti	max 3946; průměr 2394	průměr 0,73	29,4; průměr 23,5	max 75,6; průměr 60,4
Langer et al. [67]	Švédsko - nové pasivní domy (20) a nové obývací postavené domy	topná sezóna 2012/2013 topná sezóna 2013/2014	mechanická mechanická přírozené mechanická	byty	NA	medián 1,15 podzim; 0,54 zima	max 29,4; průměr 25,2	max 90; průměr 60
				ložnice pasivní domy	medián 540	medián 0,68	průměr 22	30
				ložnice obývací domy	medián 640	medián 0,60	průměr 22	38
						před izolacím opatřením 0,34; po 0,24	NA	NA
Nabinger et al. [80]	USA - mobilní dům	2010	přírozené	různé místnosti	NA	před izolacím opatřením 0,35 - 0,52; po 0,25 - 0,34	NA	NA
Wells et al. [138]	USA	2013	mechanická	6 bytů po renovaci - různé místnosti	v průběhu roku 476 - 2284	NA	15,2 - 27,9	22 - 77,5

9. ZÁVĚR

Tato diplomová práce si kladla za cíl kvantifikovat, jaký vliv mají plastová a dřevěná okna na intenzitu výměny vzduchu, koncentraci CO₂, teplotu a relativní vlhkost vzduchu vnitřního ovzduší/prostředí v bytech. Dalším předmětem této práce bylo zjistit a kvantifikovat, jaký vliv má režim tzv. mikroventilace u plastových oken na snížení koncentrace CO₂ a zvýšení intenzity výměny vzduchu v bytech. Hlavní důraz byl kladen na to, aby měření v jednotlivých bytech probíhalo za identických podmínek, tedy aby velikost monitorovaného prostoru - ložnice, počet obyvatel v ní a umístění dvojic bytů bylo co nejpodobnější a především, aby lidé dodržovali režim nutný pro měření. Měření koncentrace CO₂, teploty a relativní vlhkosti vzduchu probíhalo během noci, aby se zajistilo podobné chování lidí během spánku. Během spánku jsou lidé také vystaveni vysokým koncentracím CO₂ po nepřetržitou dobu až 8 hodin. Intenzita větrání pak byla vypočtena z tříhodinového intervalu bez přítomnosti lidí, kteří ložnici ihned po probuzení opustili. V tomto měření se jednalo výhradně o vliv oken, protože ostatní parametry byly stejné pro jednotlivé dvojice.

Maximální koncentrace CO₂ během noci se u bytů s plastovými okny pohybovala mezi 2005 – 3920 ppm a u bytů s dřevěnými okny mezi 1149 – 2580 ppm. Průměrná koncentrace CO₂ během noci u bytů s plastovými okny dosahovala hodnot 1716 – 3197 ppm a u bytů s dřevěnými okny hodnot 796 – 2125 ppm. Hranice Pettenkoferova kritéria 1000 ppm byla překročena u všech bytů s plastovými i dřevěnými okny. Doporučená koncentrace CO₂ 1500 ppm dle vyhlášky č. 20/2012 Sb., o technických požadavcích na stavby, byla překročena u všech bytů s plastovými okny a 59 % bytů s dřevěnými okny. Koncentrace 2000 ppm byla překročena u všech bytů s plastovými okny, oproti tomu jen u 9 % bytů s dřevěnými okny. Koncentrace CO₂ 3000 ppm byla překročena pouze u bytů s plastovými okny a to u 59 %. Intenzita výměny vzduchu se v ložnicích s plastovými okny pohybovala v hodnotách 0,03 – 0,13 h⁻¹, naopak u bytů s dřevěnými okny dosahovala hodnot mezi 0,21 – 0,50 h⁻¹. Průměrná relativní vlhkost se pohybovala mezi 41,7 – 69,5 % u bytů s plastovými okny a mezi 29,8 – 56,1 % u bytů s dřevěnými okny. V bytech s dřevěnými okny byla průměrná relativní vlhkost nižší o 40 % v porovnání s byty s plastovými okny. Průměrná teplota v bytech s dřevěnými okny dosahovala hodnot 14,7 – 22,3 °C a v bytech s plastovými okny hodnot 19,4 – 24,7 °C. Průměrná relativní vlhkost mimo optimum, tedy vyšší než 60 %, byla zaznamenána u 32 % bytů s plastovými okny, ale u žádného z bytů s dřevěnými okny, naopak relativní vlhkost nižší než 30 % byla naměřena pouze u jednoho z bytů s dřevěnými okny a to jen po jednu noc. V bytech s plastovými okny byla průměrná teplota v noci alespoň po 1 noc vyšší než optimum (20 – 22 °C) u 68 % bytů a naopak nižší

než optimum u bytů s dřevěnými okny, a to u 59 % bytů. V bytech s dřevěnými okny byla průměrná teplota nižší o 17 % v porovnání s byty s plastovými okny.

Jedna etapa měření probíhala na podzim (říjen 2015) a druhá etapa měření probíhala v zimě (leden – únor 2016). Vyšší intenzita výměny vzduchu (nejvíce znatelná u dřevěných oken) byla naměřena v zimních měsících, to bylo pravděpodobně zapříčiněno větším rozdílem mezi vnitřní a venkovní teplotou, zejména ve dnech, kdy teplota klesla pod 0 °C. Větší variabilita intenzity výměny vzduchu u dřevěných oken, v porovnání s variabilitou intenzity výměny vzduchu u plastových oken, byla pravděpodobně způsobena různým technickým stavem – opotřebením dřevěných oken a to především v důsledku toho, že budovy s původními dřevěnými okny jsou i více než 40 let staré. Menší variabilita intenzity výměny vzduchu u plastových oken je způsobena tím, že plastová okna mají podobnou hodnotu součinitele prostupu tepla, aby vyhovovala příslušným technickým požadavkům. Statistické zpracování dat potvrdilo, že byty s plastovými okny mají v průměru asi 5 x nižší ventilační rychlost než byty s dřevěnými okny. Naměřené koncentrace CO₂ i intenzity větrání, teplota a relativní vlhkost se statisticky významně lišily v ložnicích s plastovými a dřevěnými okny. Během noci byla maximální i průměrná koncentrace CO₂ naměřena statisticky významně vyšší u bytů s plastovými okny a to v průměru o 94 %, resp. 91 % vyšší než u bytů s dřevěnými okny. Teplota a relativní vlhkost vzduchu byly také naměřeny statisticky významně vyšší v bytech s plastovými okny.

Dalším předmětem této práce bylo kvantifikovat vliv režimu mikroventilace (způsobu uzavření okna) u plastových oken především na koncentraci CO₂ a intenzitu výměny vzduchu. Průměrná koncentrace CO₂ se pohybovala mezi 1329 – 2154 ppm v ložnicích s okny v režimu mikroventilace a mezi 2262 – 3022 ppm v ložnicích s uzavřenými okny. Intenzita větrání se pohybovala mezi 0,19 – 0,38 h⁻¹ v ložnicích s režimem mikroventilace a mezi 0,03 – 0,07 h⁻¹ v ložnicích se zavřenými okny. Průměrná teplota v ložnicích s uzavřenými okny se pohybovala mezi 20,8 – 23,3 °C a relativní vlhkost vzduchu mezi 51,6 – 69,6 %. Průměrná teplota v ložnicích s okny v režimu mikroventilace se pohybovala mezi 18,8 – 22,3 °C a relativní vlhkost vzduchu mezi 45,6 – 59,6 %. Režim mikroventilace měl tedy pozitivní vliv na snížení průměrné relativní vlhkosti vzduchu v noci o 11 %, ale také na snížení průměrné teploty v noci a to o 5 % oproti ložnicím se zavřenými okny. Statistická analýza prokázala statisticky významný rozdíl mezi koncentrací CO₂, intenzitou větrání, teplotou a relativní vlhkostí vzduchu mezi ložnicemi se zavřenými okny a okny v režimu mikroventilace. Měření prokázala statisticky významný vliv režimu mikroventilace na snížení koncentrace CO₂ v místnosti a to v průměru o 67 % u maximální a o 69 % u průměrné

koncentrace CO_2 v noci v ložnicích s režimem mikroventilace, oproti ložnicím se zavřenými okny. Režim mikroventilace má také statisticky významný vliv na zvýšení intenzity výměny vzduchu, ta se při režimu mikroventilace zvýšila 6,2 x oproti režimu se zcela uzavřenými okny. Lze dovodit, že režim mikroventilace může v jistém slova smyslu nahradit přirozenou ventilaci u dřevěných oken a zvýšit intenzitu výměny vzduchu v místnosti, a tím snížit koncentraci CO_2 , avšak tento režim není možné používat vzhledem k venkovním podmínkám po celý rok. Např. v zimě, či během chladného podzimu a jara by mohlo v důsledku nízké venkovní teploty docházet k přílišnému ochlazování vnitřního vzduchu, což by vedlo k vnitřní teplotě vzduchu pod doporučené optimální hodnoty 20 – 22 °C.

Výsledky této diplomové práce potvrzují závěry některých zahraničních studií a to, že vliv změny typu oken na kvalitu vnitřního ovzduší je značný a určitě je nutné se jím v budoucnu podrobněji zabývat a to především v bytech a obytných domech, kde lidé tráví většinu svého času. Určitě by bylo třeba provést více měření ke statistické analýze, spíše desítky až stovky, což bohužel nebylo vzhledem k časovým a finančním možnostem a omezenému technickému (měřicímu) vybavení možné. Zcela jistě bude v budoucnu potřeba více prací, které se budou zabývat vlivem zateplování na kvalitu vnitřního prostředí (ovzduší), ať už z pohledu oxidu uhličitého a ventilace, tak z pohledu jiných znečišťujících látek, jako je např. formaldehyd, VOC, NO_2 či částice PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ apod.. Tato diplomová práce naznačila jeden z dalších možných směrů výzkumu kvality vnitřního ovzduší v obytných budovách. Na závěr bych ráda uvedla, že si myslím, že téma zateplování a jeho vliv na kvalitu vnitřního prostředí je tématem příliš neprozkoumaným. Velký nedostatek vidím také v chybějící legislativě v rámci domácností, která by byla jistým podnětem k tomu, aby se vliv zateplování začal více promýšlet z hlediska důsledku na lidské zdraví. Ale zda je vůbec možné legislativně ošetřit kvalitu vnitřního ovzduší v našich vlastních domácnostech, to se ukáže v nadcházejících několika letech. Každopádně se nejedná o snadný úkol. Dalším problémem je, že mnoho lidí není o problematice spojené s kvalitou vnitřního prostředí dostatečně informováno a tak si neuvědomují zdravotní rizika spojená se špatnou kvalitou jejich vnitřního prostředí. Žijeme v době, kdy je vyvíjen stále větší tlak na úsporu energie a mnohdy na úkor našeho zdraví. Než se přistoupí k některému kroku spojenému se zateplováním, měl by se předem prozkoumat jeho dlouhodobý vliv na kvalitu vnitřního prostředí, které významně ovlivňuje naše zdraví a kvalitu života.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

10.1 Literatura

- [1] Adams, E. W., Sgamboti, C. T., Sherber, M., Thompson, J. L. (1993): Simulations of indoor air quality and comfort in multi – zone buildings. Proceedings of Indoor Air. Finland
- [2] Almeida – Silva, M., Wolterbeek, H. T., Almeida, S. M. (2014): Eldery exposure indoor air pollutants. Atmospheric Environment 85: 54 – 63
- [3] American Society for Testing and Materials (2002): ASTM Standard D 6245 – 07 standard guide for using indoor carbon dioxide concentration to evaluate indoor air quality and ventilation. American Society for Testing and Materials
- [4] Andersen, C. E., Bergsoe, N. C., Majborn, B., Ulbak, K. (1997): Radon and natural ventilation in newer Danish single – family houses. Indoor Air 7: 278 – 286
- [5] Anderson, K., Stridh, G., Fagerlund, I., Aslaksen, W., Rudblad, S. (2002): Comparison of the perceived indoor climate and symptoms reported by students and personnel in 16 senior high schools in Sweeden. Proceeding indoor Air 3: 3399 – 3403
- [6] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 62.1 / 2010 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers. Atlanta 2010
- [7] Aubin, D., Won, D., Schleibinger, H., Gauin, D., Lajoie, P. (2011): Seasonal variation in ondoor air quality from a filed study investigating the impact of ventilation rates on the health of sthmatic children in Québec City. Proceedings of indoor air: paper no. 93
- [8] Barankova, P., Naydenov, K., Melikov, A. Sundell, J. (2004): Distribution of carbon dioxide produce by people in a room: Part 1 – laboratory study. Priceeding of Roomventilation. University of Coibra, Portugal
- [9] Barankova, P., Sundell, J., Melikov, A., Naydenov, K. (2004): Distribution of carbon dioxide produce by people in a room: Part 2 – field study. Proceeding of Roomventilation. University of Coibra, Portugal,,,,

- [10] Barritauld, P., Brun, M., Gidon, S., Nicoletti, S. (2011): Mid – IR source based on a free standing microhotplate for autonomous CO₂ sensing in indoor applications. *Sensors and Actuators A* 172: 379 - 385
- [11] Bekö, G., Lund, T., Nors, F., Toftum, J., Clausen, G. (2010): Ventilation rates in the bedroom of 500 Danish children. *Building and Environment* 45: 2289 – 2295
- [12] Bekö, G., Toftum, J., Clausen, G. (2011): Modeling ventilation rates in bedrooms based on building characteristics and occupant behaviour. *Building and Environment* 46: 2230 – 2237
- [13] Bergsoe, N. C. (1991): Luftkifte – feltmaling i 100 huse. *VVS27*: 4 – 8
- [14] Bergsoe, N. C., Weschler, C. J. (2004): Chemical reactions among indoor pollutants: what we have learned in the new millennium. *Indoor Air* 14: 184 – 194
- [15] Bernier, M., Hallé, S. (2005): A critical look at the air infiltration term in the Canadian energy rating procedure for windows. *Energy and Buildings* 37: 997 – 1006
- [16] Blengini, G. A., Di Carlo, T. (2010): The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. *Energy and Buildings* 42: 869 - 880
- [17] Boer, L. (2011): Participatory provocations? Participatory innovation conference 2011, Sønderborg, Denmark: 21 – 26
- [18] Bornehag, C. G., Sundell, J., Haerhed – Engman, L., Sigsgaard, T. (2005): Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children. *Indoor Air* 15: 275 – 280
- [19] Braniš M., Hůnová I. et al. (2009): *Atmosféra a klima aktuální otázky ochrany ovzduší*, Karolinum. Praha, 351 str.
- [20] Braniš, M., Řezáčová, P., Guignon, M. (2002): Fine Particles (PM₁) in Four Different Indoor Environments. *Indoor and Built Environment* 11: 184 – 190
- [21] Braun, J. E., Lawrence, T. M. (2006): Evaluation of the simplified models for predicting CO₂ concentrations in small commercial buildings. *Building and Environment* 41: 184 - 194
- [22] Bribián, I. Z., Capilla, A. V., Usón, A. A. (2011): Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco – efficiency improvement potential. *Building and Environment* 46: 1133 – 1140

- [23] Bulińska, A. (2007): Determination of airflow pattern in a residential buildings using metabolic carbon dioxide concentration measurement. 10th International conference on air distribution in rooms. SCANVAC conference. Roomventilation. Finland Helsinki: str. 188
- [24] Bulińska, A., Popiolek, Z., Buliński, Z. (2014): Experimentally validated CFD analysis on sampling region determination of average indoor carbon dioxide concentration in occupied space. *Building and Environment* 72: 319 – 331
- [25] Carpenter, S. C. (1996): Energy and IAQ impacts of CO₂ – based demand – controlled ventilations. *ASHRAE Transactions* 102: 80 – 88
- [26] Clement – Croome, D., Awbi, H., Bakó – Biró, Z., Kochhar, N., Williams, M. (2008): Ventilation rates in schools. *Building and Environment* 43: 362 – 367
- [27] Colton, M. D., MacNaughton, J., Vallarino, J., Kane, J., Benett – Fripp, M. et al. (2014): Indoor air quality in green vs conventional multifamily low - income housing. *Environmental Science and Technology* 48: 7833 – 7841
- [28] Cortés-Borda D., Ruiz-Hernández A., Guillén-Gosálbez G., Llop M., Guimerà R., Sales-Pardo M. (2015): Identifying strategies for mitigating the global warming impact of the EU-25 economy using a multi-objective input–output approach, *Energy Policy*, vol. 77, str. 21 – 30
- [29] Csobod, É., Annesi – Maesano, I., Carrer, P., Kephelopoulos, S., Madureira ed. (2014): SINPHONIE (Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe. Publication Office of the European Union Luxembourg, 27 str.
- [30] Derbez, M., Berthineau, B., Coche, V., Lethrosne, M., Pignon, C. et al. (2014): Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France. *Building and Environment* 72: 173 – 187 [MM]
- [31] Deshmukh, D. K., Deb, M. K., Tsai, Z. I., Mkombe, S. L. (2011): Water soluble ions in PM_{2.5} and PM₁ aerosols in Durg city, Chhattisgarh, India. *Aerosol Air Quality Research* 11: 696 – 708
- [32] Dimitroulopoulos, C. (2012): Ventilation in European dwellings: a review. *Building and Environment* 47: 109 – 125

- [33] Directive 2002/91/EC of European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Communities L 001, 4.1.2003
- [34] Directive 2010/31/EC of European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (Recast). Official Journal of the European Communities L 153, 18.6.2010
- [35] Du, L., Batterman, S., Godwin, C., Chin, J. Y., Parker, E., Breen, M. (2012): Air changes rates and interzonal flows in residences, and the need for multi – zone models for exposure and health analyses. *International Journal of Sustainable Build Environment* 9: 4639 - 4661
- [36] Emenius, G., Agmar, A. C., Wickman, M. (1998): Mechanical ventilation protects one – storey single – dwelling houses against increased air humidity, domestic mite allergens and indoor pollutants in a cold climatic region. *Clinical & Experimental Allergy* 28: 1389 - 1396
- [37] Emenius, G. Svartengren, M., Korsgaard, J., Nordvall, I., Pershagen, G. (2004): Building characteristics, indoor air quality and recurrent wheezing in very young children. *Indoor Air* 14: 34 – 42
- [38] Emmerich, S. J., Crum, J. (2005): Simulated Performance of Natural and Hybrid Ventilation Systems in an Office Building. *Air – Conditioning and Refrigeration Technology Institut ARTI – 21CR/611 – 40076 – 01*
- [39] Emmerich, S. J., McDowell, T. P., Anis, W. (2007): Simulation of the impact of commercial building envelope airtightness on building energy utilization. *ASHRAE Transactions* 113: 379 - 399
- [40] Emmerich, S.J., Persily, A. K. (2014): Analysis of U.S. commercial building envelope air leakage database support sustainable building design. *International Journal of Ventilation* 12: 331 – 343
- [41] European Committee for Standardization (1998): CEN CR 1752. Ventilation for buildings – design criteria for indoor environment . European Committee for Standardization
- [42] Frankel, M., Bekö, G., Timm, M., Gustavsen, S., Hansen, E. W. et al. (2012): Seasonal variation of indoor microbial exposures and their relations to temperature, relative humidity and air change rates. *Applied Environmental Microbiology* 78: 8289 - 8297

- [43] Frontczak, M., Andersen, R. V., Wargocki, P. (2012): Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing. *Building and Environment* 50: 56 – 64
- [44] Frontczak, M., Wargocki, P. (2011): Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment* 46: 922 – 937
- [45] Gadyszewska – Fiedoruk, K. (2011): Analysis of stack ventilation system effectiveness in an average kindergarten in north – eastern Poland. *Energy and Buildings* 44: 2488 - 2493
- [46] Gallego, E., Roca, X., Perales, J. F., Gaurdino, X. (2009): Determining indoor air quality and identifying the origin of odour episodes in indoor environments. *Journal of Environmental Sciences* 21: 333 – 339
- [47] Gilbert, N. L., Gauvin, D., Guay, M., Héroux, M. É., Dupuis, G. Et al. (2006): Housing characteristics and indoor concentration of nitrogen dioxide and formaldehyde in Quebec City. *Environment Research* 102: 1 – 8
- [48] Gilbert, N. L., Guya, M., Gauvin, D., Dietz, R., Chan, C. C. et al. (2008): Air change rate and concentration of formaldehyde in residential indoor air. *Atmospheric Environment* 42: 2424 - 2428
- [49] Grégr, M., Hovorka, J., Pokorná, P. (2012): Sít'ové měření variability PM₁ a PM₁₀ v mikroměřítu a mezi sezónami. *Ochrana ovzduší* 3: 26-30
- [50] Griffiths, M. (2008): Control of CO₂ in naturally ventilated classroom. *Energy and Buildings* 40: 556 – 560
- [51] Grimsrud, D., Bridges, B., Schulte, R. (2006): Continuous measurement of air quality parameters in schools. *Building Research & Information* 34: 447 – 458
- [52] Harving, H., Korsgaard, J. (1994): Clinical efficacy of reduction in house – dust mite exposure in specially designed, mechanically ventilated healthy homes. *Allergy* 49: 866 - 870
- [53] Hovorka, J., Braniš, M. (2011): New particle formation and condensation growth in a large indoor space. *Atmospheric Environment* 45: 2736 – 2749
- [54] Hůnová I., Janoušková S. (2004): Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší, Karolinum, Praha, 144 str.

- [55] Hyldgaard, E. C. (1994): Humans as a source of heat and air pollution. 4th International conference on air distribution in rooms. Roomventilation, Cracow, Poland
- [56] International Labour Organisation (2000): Encyklopedia of occupational safety and health – 2nd edition. Sick Building Syndrom
- [57] Interní reporting společnosti ENERGOINVEST, a. s. (1997 – 2014)
- [58] Jacobs, D. E., Ahonen, E., Dixon, S. L., Dorevitch, S., Breysse, J. at al. (2015): Moving into Green Healthy Housing, Journal of Public Health Management and Practise 21 (4): 345 – 354
- [59] Jaffari, S. D., Matthews, B. (2009): From occupying to inhibiting – a change in conceptualizing comfort. Proceedings of beyond Kyoto: addressing the challenges of climate change - Science meets Industry, Policy and Public. Earth and Environmental Science 8: 1 – 14
- [60] Johnson, T., Myers, J., Kelly, T., Wisbith, A., Ollisonc, W. (2004): A pilot study using scripted ventilation conditions to identify key factors affecting indoor pollutant concentration and air exchange rate in a residence. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 14: 1 – 22
- [61] Jokl, M. V. (2004): Optimální a přípustné mikroklimatické podmínky pro obytné prostředí. Vytápění větrání instalace 2: 19 – 27
- [62] Kamaruzzaman, S. N., Razak, R. A. (2011): Measuring indoor air quality performance in Malaysian government kindergarten. Journal of Building Performance 2: 70 – 79
- [63] Keoleian, G. A., Blanchard, S., Reppe, P. (2011): Life – cycle energy, costs, and strategies for improving a single – family house. Journal of Industrial Ecology 4: 135 – 156
- [64] Kvisgaard, B., Collet, P. F. (1990): The user's influence on air change. Air change rate and airtightness in buildings. Americann Society for Testing and Materials
- [65] Lajčiková, A., Mathauserová, Z. (2006): Vytápění a tepelná pohoda. Státní zdravotní ústav. GEOPRINT Praha, 1 str
- [66] Langer, S., Bekö, G. (2013): Indoor air quality in the Swedish stock and its dependence on buildings characteristic. Building and Environment 69: 44 - 54

- [67] Langer, S., Bekö, G., Bloom, E., Widhedenn, A., Eksberg, L. (2015): Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden. *Buildings and Environment* 93: 92 – 100
- [68] Laumbach, R. J., Kiper, H. M. (2012): Respiratory health effects of air pollution: update on biomass smoke and traffic pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 129: 3 - 11
- [69] Lee, S. Ch., Li, W. – M., Ao, Ch. – H. (2002): Investigation of indoor air quality at residential homes in Hong Kong – case study. *Atmospheric Environment* 36: 225 – 237
- [70] Leech, J. A., Raiyenne, M., Gusdorf, J. (2004): Health in occupancy of energy efficient homes. *Indoor Air* 14: 169 – 173
- [71] Liddament, M. (1996): Why CO₂? *Air infiltration Review* 18: 1 – 7
- [72] Mahyuddin, N., Awbi, H. (2012): A review of CO₂ measurement procedures in ventilation research. *Building and Environment* 10: 353 – 370
- [73] Maidment, C. D., Jones, C. R., Webb, T. L., Hathway, E. A., Gilbertson, J. M. (2014): The impact of household energy efficiency measures on health: A meta – analysis. *Energy Policy* 65: 583 – 593
- [74] Massey, D., Masih, J., Kulshrestha, A., Habil, M., Taneja, A. (2009): Indoor/outdoor relationship of fine particles less than 2,5 µm in residential homes locations in central India region. *Building and Environment* 44: 2037 – 2045
- [75] McGill, G., Oyedele, L. O., McAllister, K. (2015): Case study investigation of indoor air quality in mechanically ventilated and naturally ventilated UK social housing. *International Journal of Sustainable Build Environment* 4: 58 – 77
- [76] Mendell, M. J., Eliseeva, E. A., Davies, M. M., Lobscheid, M., Fisk, A. et al. (2013): Association of classroom ventilation with reduced illness absence: a prospective study in California elementary schools. *Indoor Air* 23: 515 – 528
- [77] Ministerstvo životního prostředí (2014): Průvodce dotacemi v OP Životní prostředí 2014 – 2020, 1 – 4
- [78] Morawska, L., Jayaratne, E., Mengersen, K., Jamriska, M., Thomas, S. (2002): Differences in airborne particle and gaseous concentration in urban air between weekdays and weekends. *Atmospheric Environment* 36: 4375 - 4383

- [79] Murra, D. M., Burmaster, D. E. (1995): Residential air change - rates in the United – States – empirical and estimated parametric distributions by season and climatic region. *Risk Analysis* 15: 459 – 465
- [80] Nabinger, S., Persily, A. (2011): Impact of airtightening retrofits on ventilation rates and energy consumption in a manufactured home. *Energy and Buildings* 43: 3059 – 3067
- [81] Nantka, M. B. (2005): Airtightness and natural ventilation: a case study for dwellings in Poland. *The International Journal of Ventilation* 4: 79 - 91
- [82] Nantka, M. B. (2008): Indoor climate and energy consumption in buildings with natural ventilation. *Architecture Civil Engineering Environment* 1: 107 – 118
- [83] Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- [84] Nařízení vlády č.178/2001 Sb., nejvyšší přípustné koncentrace plynů a par s toxickým účinkem v pracovním prostředí
- [85] Ng, L. C., Musser, A., Persily, A. K., Emmerich, S. J. (2012): Indoor air quality analyses of commercial reference building. *Building and Environment* 58: 179 – 187
- [86] Ng, C. L., Musser, A., Persily, A. K., Emmerich, S. J. (2013): Multizone airflow models for calculating infiltration rates in commercial reference buildings. *Energy and Buildings* 58: 11 – 18
- [87] Ng, L. C., Musser, A., Persily, A. K., Emmerich, S. J. (2015): IAQ and energy impacts of ventilation strategies and building envelope airtightness in a big box retail building. *Building and Environment* 92: 627 - 634
- [88] Ng, L. C., Musser, A., Persily, A. K., Emmerich, S. J. (2015): Improving infiltration modeling in commercial building energy models. *Energy and Buildings* 88: 316 - 323
- [89] Novák, J. (2008): Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov. Grada Praha. 175 str. – Kapitola Vzduchotěsnost a výměna vzduchu v budově str. 17 – 34
- [90] Novotný I., Hruška M. :(2009): Biologie člověka. Fortuna. Praha, 239 str.
- [91] Norhidayah, A., Chia – Kuang, L., Azhar, M. K., Nurulwahida, S. (2013): Indoor Air Quality and Sick Building Syndrome in Three Selected Buildings. *Procedia Engineering* 53: 93 - 98

- [92] Norma ČSN EN 14 412 Kvalita vnitřního ovzduší
- [93] Norma ČSN EN 15 521 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky
- [94] Norma ČSN EN 15 665/Z1 Větrání budov
- [95] Norma ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov
- [96] Øie, I., Stymne, H., Boman, C. A., Hellstrand, V. (1998): The ventilation rate of 344 Oslo residences. *Indoor Air* 8: 190 - 196
- [97] Peeters, I., Van der Veken, J., Hens, H., Helsen, L., D'haeseleer, W. (2008): Control of heating systems in residential buildings: current practice. *Energy and Buildings* 40: 1146 – 1155
- [98] Penman, J. M. (1980): An experimental determination of ventilation rate in occupied rooms using atmospheric carbon dioxide. *Building and Environment* 15: 45 – 47
- [99] Peretti, C., Pasut, W., Emmi, G., De Carli, M. (2015): Comfort and perceived air quality in refurbished social houses with mechanical ventilation system: the impact of occupants behavior. *Energy Procedia* 78: 2887 – 2892
- [100] Perez – Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C. (2008): A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings* 40: 394 – 398
- [101] Persily, A. K. (1997): Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide. *ASHRAE Transaction* 103: 193 – 204
- [102] Persily, A. K. (2015): Challenges in developing ventilation and indoor air quality standards: The story of ASHRAE Standard 62. *Building and Environment* 91: 61 - 69
- [103] Persily, A. K., Emmerich, S. J. (2012): Indoor air quality sustainable, energy efficient buildings. *HVAC&R Research* 18: 1 – 17
- [104] Persily, A. K., Musser, A., Emmerich, S. J., Taylor, A. W. (2003): Simulations of indoor Air Quality and Ventilation Impacts of Demand Controlled Ventilation in Commercial and Institutional Buildings, National Institute of Standards and Technology NISTIR 7042
- [105] Písemné sdělení RNDr. Bohumil Kotlík – vedoucí Oddělení hygieny ovzduší a odpadů

- [106] Prill, R., Blake, D., Hales, D. (2012): School indoor air quality assessment and program implementation. Washington State University
- [107] Rossi, B., Marique, A. F., Glaumann, M., Reiter, S. (2012): Life – cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. *Building and Environment* 51: 395 - 401
- [108] Rozsudek Nejvyššího správního soudu ze dne 2. 2. 2006, č. j. 2 As 44/2005 – 116
- [109] Rubin, A. (2008): *Klimatizace a větrání*. ERA. Praha, 117 str.
- [110] Ruotsalainen, R., Rönnenberg, R., Säteri, J., Majanen, A., Seppänen, O. et al. (1992): Indoor climate and the performance of ventilation in Finnish residences. *Indoor Air* 2: 137 – 145
- [111] Santamouris, M., Allard, F.(1998): *Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook*. James & James – Cromwell Press UK. 355 str.
- [112] Santamouris, M., Synnefa, A., Assimakopoulos, M., Livada, I., Pavlou, K. et al. (2008): Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energy and Buildings* 40: 1833 - 1843
- [113] Sartori, I., Hestnes, A. G. (2007): Energy use in the life cycle of conventional and low – energy buildings: a review article. *Energy and Buildings* 39: 249 – 257
- [114] Seppänen, O. A., Fisk, W. J., Mendell, M. J. (1999): Association of ventilation rates and CO₂ concentration with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air* 9: 226 – 252
- [115] Sharpe, R.A., Thornton, C.R., Nikolauo, V., Osborne, N.J. (2015): Higher energy efficient homes are associated with increased risk of doctor diagnosed asthma in a UK subpopulation. *Environment International* 75: 234 – 244
- [116] Shin, Jung – Hye (2016): Toward a theory of environmental satisfaction and human comfort: A process – oriented and contextually sensitive theoretical framework. *Journal of Environmental Psychology* 45: 11 – 21
- [117] Schweiker, M., Shukuya, M. (2009): Comparison of theoretical and statistical models of air – conditioning – unit usage behaviour in a residential setting under Japanese climatic conditions. *Building and Environment* 44: 2137 – 2149

- [118] Smedje, G., Mattsson, M., Walinder, R. (2011): Comparing mixing and displacement ventilation in classroom: pupil's perception and health. *Indoor Air* 21: 4454 - 4611
- [119] Soebarto, V., Bennets, H. (2014): Thermal comfort and occupant response during summer in a low to middle income housing development in South Australia, *Building and Environment* 75:19 – 29
- [120] Stymne, H., Boman, C. A., Kronvall, J. (1994): Measuring ventilation rates in Swedish housing stock. *Building and Environment* 29: 373 – 379
- [121] Státní fond životního prostředí ČR (2015): Nová zelená: 10, 1 - 4
- [122] Sundell, J., Wickman, M., Pershagen, G., Nordvall, S. L. (1995): Ventilation in homes infested by house – dust mites. *Allergy* 50: 106 - 112
- [123] Šubrt R. et al. (2011): Mikroklima ve veřejných budovách jako důvod instalace rekuperace, Energy Consulting Service, s.r.o., Ministerstvo průmyslu a obchodu, 109 str.
- [124] Tettey, U. Y. A., Dodoo, A., Gustavsson, C. (2014): Effect of different insulation materials on primary energy and CO₂ emission of a multi – storey residential building. *Energy and Buildings* 82: 369 – 377
- [125] Turanjani, V., Vučićević, B., Jovanović, M., Mirkov, N., Lazović, I. (2014): Indoor CO₂ measurements in Serbian schools and ventilation rate calculation. *Energy* 77: 290 – 296
- [126] Turunen, M., Tozinbo, O., Putus, T., Nevalainen, A., Shaughnessy, R. et al. (2014): Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 217: 733 – 739
- [127] United Nations Environment Programme (2009): Buildings and Climate Change, Summary for Decision – makers. United Nations Environment Programme, Paris
- [128] U.S. EPA (1997): Air Quality Criteria for Particulate Matter: Dosimetry of Inhaled Particles in the Respiratory Tract. United States Environment Protection Agency, Washington DC
- [129] Ústní sdělení společnosti ENERGOINVEST, a. s.
- [130] Vyhláška č. 6/2003 Sb., hygienické limity pro vnitřní prostředí pobytových místností
- [131] Vyhláška č. 20/2012Sb. o technických požadavcích na stavby

- [132] Vyhláška č. 237/2014 Sb., kterou se mění vyhláška č. 194/2007 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům
- [133] Vymětalík, V., Zwiener, V. (2007): Vliv výměny oken v panelovém dome na sledované parametry vnitřního prostředí v souvislosti s výměnou vzduchu v obytném prostoru. Dektime 7: 36 - 42
- [134] Walker, S. I., Lowery, D., Theobald, K. (2014): Low – carbon retrofits in social housing: Interaction with occupant behaviour. Energy Research and Social Science 2: 102 – 114
- [135] Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P. O. et al. (2002): Ventilation and health in non – industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). Indoor Air 12: 113 – 128
- [136] Wargocki, P., Wyon, D. P. (2007): The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performace of schoolwork by children. HVAC&R Res 13: 193 – 220
- [137] Warner, J. A., Frederick, J. M., Bryant, T. N., Weich, C., Raw, G. J. et al. (2000): Mechanical ventilation and high – efficiency vacuum cleaning a combined strategy of mite and mite allergen reduction in the control of mite – sensitive asthma. Journal of Allergy and Clinical Immunology 105: 75 - 82
- [138] Wells, E.M., Berges, M., Metcalf, M., Kinsella, A. Foreman, K. et al. (2015): Indoor air quality and occupant comfort in homes with deep versus conventional energy efficiency renovations. Building and Environment 93: 331 – 338
- [139] World Health Organisation (WHO) (1989): Health Aspect Related to Indoor Air Quality. Report on a WHO Working Group. World Health Organisation, Geneva
- [140] World Health Organisation (WHO) (2009): Global Health risks: Mortality and burden of disease attributable to selected Major Risks
- [141] Xu, B., Fu, L., Di, H. (2009): Field Investigation on consumer behavior and hydraulic performance of a district heating system in Tianjin, China. Building and Environment 44: 249 – 259

- [142] Yamamoto, N., Shendell, D. G., Winer, A. M., Zhang, J. (2010): Residential air exchanges rates in three major US metropolitan areas: results from the relationship among indoor, outdoor, and personal air study, *Indoor Air* 20: 85 – 90
- [143] Yang Razali, N. Y., Latif, M. F., Dominick, D., Sulaiman, N., Srithawirat, T. et al. (2015): Concentration of Particulate Matter, CO and CO₂ in Selected Schools in Malaysia. *Building and Environment* 87: 108 – 116
- [144] You, Y., Bai, Z., Jia, C., Hu, X., Ran, W., Zhang, J. et al. (2007): Ventilation conditions and the related symptoms in selected indoor environments in a University. 6th International Conference on Indoor Air Quality. Ventilation & Energy Conservation in Buildings IAQVEC. Japan, Sendai
- [145] You, Y., Niu, C., Zhou, J., Liu, Y., Bai, Z. et al. (2012): Measurement of air exchanges rates in different indoor environments using continuous CO₂ sensors. *Journal of Environmental Sciences* 24: 657 - 664
- [146] Zapera (2007): Zapera rapport - Report No.: DK2007 – 765
- [147] Zákon č. 258/200 Sb. o ochraně veřejného zdraví
- [148] Zákon č. 406/2000 Sb. - o hospodaření energií a související předpisy
- [149] Zrzavý, F., Doležíková, H., Papež, K. (2005): Příspěvek k problematice bytového větrání – množství větracího vzduchu vznikající šodliviny. *Topenářství instalace* 1: 38 - 41

10.2 Internet

- [int 1] Bačůvčík, R.. (2010): Jak na marketingové průzkumy. Bacuvcik.webnode.cz [online]. Dostupné na: <<http://bacuvcik.webnode.cz/news/jak-na-marketingove-pruzkumy/>> [19.2.2016]
- [int 2] Carbon Dioxide. Canadian Centre for Occupation Health and Safety [online]. Dostupné na: <http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/carbon_dioxide.html> [23.5.2015]
- [int 3] Ceny dálkového tepla včetně DPH v letech 1991 - 2014. Teplárenské sdružení České republiky [online]. Dostupné na: <<http://www.tscr.cz/?pg=0750&ta=123>> [22.1.2016]

- [int 4] Cifrnec, I., Kubelka, M. (2016): Současná situace v oblasti bytového větrání ČR. TZB – info.cz [online]. Dostupné na: <<http://www.tzb-info.cz/6915-soucasna-situace-v-oblasti-bytoveho-vetrani-v-cr>> [1.4.2016]
- [int 5] Co je to Mikroventilace?. VPO Protivanov, a.s.. [online]. Dostupné na: <<http://www.vpo.cz/co-je-to-mikroventilace--43.html>> [17.3.2016]
- [int 6] Eurostat. Energy, Transport and Environmental Indicators. Eurostat [online]. Dostupné na: <<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3930297/5968878/KS-DK-13-001-EN.PDF>> [21.3.2016]
- [int 7] Federal Environmental Agency of Germany. Health and Environmental Hygiene. Guide values for indoor air quality. Umweltbundesamt [online]. Dostupné na: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/Basischema_engl.pdf> [13.3.2016]
- [int 8] Fuchs, A., Navrkalová, E. (2007): Přehled platných technických norem, které souvisí s měřeními a hodnocením expozice chemickým látkám v životním prostředí. Státní zdravotní ústav [online]. Dostupné na: <http://www.szu.cz/uploads/documents/cpl/Materily_ze_seminaru/Materialy_2007/16normy1.pdf?highlightWords=%C5%BD%C3%A1dost+vyd%C3%A1n%C3%AD+osv%C4%9Bd%C4%8Den%C3%AD+autorizaci+hodnocen%C3%AD+zdravotn%C3%ADch+rizik+nebo+jeho+prodlou%C5%BEen%C3%AD> [19.2.2016]
- [int 9] Gelbspan R. (2006): What is Climate Change?. Tufts University – Office of sustainability [online]. Dostupné na: <<http://sustainability.tufts.edu/climate-change/>> [31.5.2015]
- [int 10] Jelínek, V. (2014): Vstupní parametry pro návrh interního mikroklimatu. TZB [online]. Dostupné na: <<https://www.google.cz/search?q=vstupn9+parametr+pro+n8vrh+intern%C3%ADho+mikroklimatu&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwis3OCUqbTLAhVBmHIKHfQNBICQvwUIGSgA>> [9.3.2016]
- [int 11] Krajčovičová, A. (2010): Statistický přehled panelových domů v krajích ČR. TZB – info.cz [online]. Dostupné na: <<http://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/6323-statisticky-prehled-panelovych-domu-v-krajich-cr>> [16.2.2016]

- [int 12] Kvalita vnitřního prostředí. Centrum pasivního bydlení [online]. Dostupné na: <<http://www.pasivnidomy.cz/data/files/3583.pdf>> [18.2.2016]
- [int 13] Mapy.cz (Seznam.cz) [online]. Dostupné na: <www.mapy.cz> [25.11.2015]
- [int 14] Mathauserová, Z. (2007): Mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí pracovišť. Státní zdravotní ústav [online]. Dostupné na: <<http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/mikroklimaticke-podminky-vnitriho-prostredi-pracovist>> [9.3.2016]
- [int 15] Mathauserová, Z. (2014): Význam větrání v budovách. Státní zdravotní ústav [online]. Dostupné na: <http://www.cklop.cz/2014/02/Mathauserova_Vyznam_vetrani.pdf> [23.2.2016]
- [int 16] McWilliams, J. (2002): Review of air flow measurement techniques. Lawrence Berkeley National Laboratory. University of California [online]. Dostupné na: <<http://escholarship.org/uc/item/7532b84f>> [24.3.2016]
- [int 17] Mikroventilace. OK OKNA [online]. Dostupné na: <<http://www.okokna.cz/okna/mikroventilace/>> [19.3.2016]
- [int 18] Ministerstvo životního prostředí České republiky (1996). Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě - Oxid uhelnatý. Ekologické centrum Most [online]. Dostupné na: <http://www.ecmost.cz/ver_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm> [23.5.2015]
- [int 19] Murtinger K. (2013): Pozor na koncentraci CO₂ v domácnosti - správné větrání je základ. Nazeleno.cz [online]. Dostupné na: <<http://www.nazeleno.cz/bydleni/vetrani-1/pozor-na-koncentraci-co2-v-domacnosti-spravne-vetrani-je-zaklad.aspx>> [30.5.2015]
- [int 20] Odehnal, I. (2014): V malém bytě se můžeme dusit i bez cizího přičinění. Novinky.cz [online]. Dostupné na: <<http://www.novinky.cz/bydleni/nemoci-nemovitosti/338241-v-malem-byte-se-muzete-dusit-i-bez-ciziho-pricineni.html>> [17.4.2016]
- [int 21] Oxid uhličitý (CO₂). Globální ochlazování [online]. Dostupné na: <<http://www.globalni-ochlazovani.cz/oxid-uhlicity-co2.php>> [31.5.2015]
- [int 22] Pojmové oblasti – environmentální bezpečnost. Ministerstvo vnitra České republiky. [online]. Dostupné na: <<http://www.mvcr.cz/clanek/environmentalni-bezpecnost.aspx>> [29.10.2015]

[int 23] Pracujete ve zdravém prostředí? - Měření oxidu uhličitého v budovách. TZB – info.cz [online]. Dostupné na: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi>> [30.5.2015]

[int 24] Robenek, J. (2014): S čidlem CO₂ odhalíte dusnou atmosféru. Na výstavě i doma v ložnici. vyvoj.hw.cz [online] Dostupné na: <<http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/s-cidlem-co2-odhalite-dusnou-atmosferu-na-vystave-i-doma-v-loznici.html>> [29.4.2016]

[int 25] Slovníček pojmů. Čisté nebe. [online]. Dostupné na: <<http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu>> [30.10.2015]

[int 26] Stanovisko Komise pro životní prostředí Akademie věd ČR k diskusi o klimatických změnách. Vítejte na Zemi - multimediální ročenka životního prostředí [online]. Dostupné na: <http://vitejtenazemi.cenia.cz/archiv/vzduch_cs/stanovisko_avcr.pdf> [29.5.2015]

[int 27] Šancová, L., Macholda, F., Antonín, J., Vogel, P., Kotek, P. et al. (2010): Zateplování panelových domů – technologické limity. TZB-info.cz [online] Dostupné na: <<http://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/6801-zateplovani-panelovych-domu-technologicke-limity>> [23.1.2016]

[int 28] Vladimír, J. (2014) Interní mikroklima v bytových domech. TZB – info.cz [online]. Dostupné na: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11888-interni-mikroklima-v-bytovych-domech>> [10.3.2016]

[int 29] Vyhodnocení zdravotního rizika a výskytu plísní v bytech – odborné stanovisko. Státní zdravotní ústav [online] Dostupné na: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/Vnitri_ovzdusi/VYHODNOCENI_ZDRAVOTNIHO_RIZIKA_VYSKYTU_PLISNI_V_BYTECH_ODBORNE_STANOVISKO.pdf> [9.3.2016]

[int 30] World Health Organisation. Selected pollutants. WHO indoor air quality guidelines [online] Dostupné na: <http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf> [13.3.2016]

[int 31] Základní faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí. Státní zdravotní ústav [online]. Dostupné na: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/Vnitri_ovzdusi/indoor_Zakladni_faktory_ovlivnujici_kvalitu_vnitriho_prostredi_4.pdf> [20.2.2016]

[int 32] Zikán Z. (2011): Oxid uhličitý - utajený nepřítel. TZB – info.cz [online]. Dostupné na: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitrni-prostredi/7132-oxid-uhlicity-utajeny-nepritel> [29.5.2015]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AER – air change rate – intenzita výměny vzduchu v $[h^{-1}]$

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers

BaP – benzo(a)pyren

CZT – centralizované zásobování teplem

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

DCV – demand controlled ventilation – ventilace dle potřeby

DPH – daň z přidané hodnoty

DPS – domovní předávací stanice

EE – elektrická energie

EPA – Environmental Protection Agency - Agentura pro ochranu životního prostředí

ERÚ – Energetický regulační úřad

EU – Evropská unie

GWP – Global warming potential – Globální oteplovací potenciál

HVS – horkovodní stanice

IAQ – indoor air quality - kvalita vnitřního ovzduší

IEQ – indoor environment quality - kvalita vnitřního prostředí

IR – infračervené záření

LCA – life cycle assessment - Životní cyklus produktu

MVHR – mechanical ventilation with heatRecovery – mechanická ventilace s rekuperací tepla

MZ ČR – Ministerstvo zdravotnictví České republiky

NP – nadzemní podlaží

NV – nařízení vlády

OČ – oběhové čerpadlo

OOVZ – Ográny ochrany veřejného zdraví

SBS – sick – building syndrom - syndrom nemocných budov

SD – standard deviation – standardní odchylka

SVJ – společenství vlastníků jednotek

TE – tepelná energie

UBA – Umweltbundesamt – Spolková agentura pro životní prostředí

USA – United States of America - Spojené státy americké

VOC - těkavá organická látka (volatile organic compound)

VS – výměňiková stanice

WHO – World Health Organization - Světová zdravotnická organizace

ZL – znečišťující látka

11. PŘÍLOHA

11.1 Příloha A

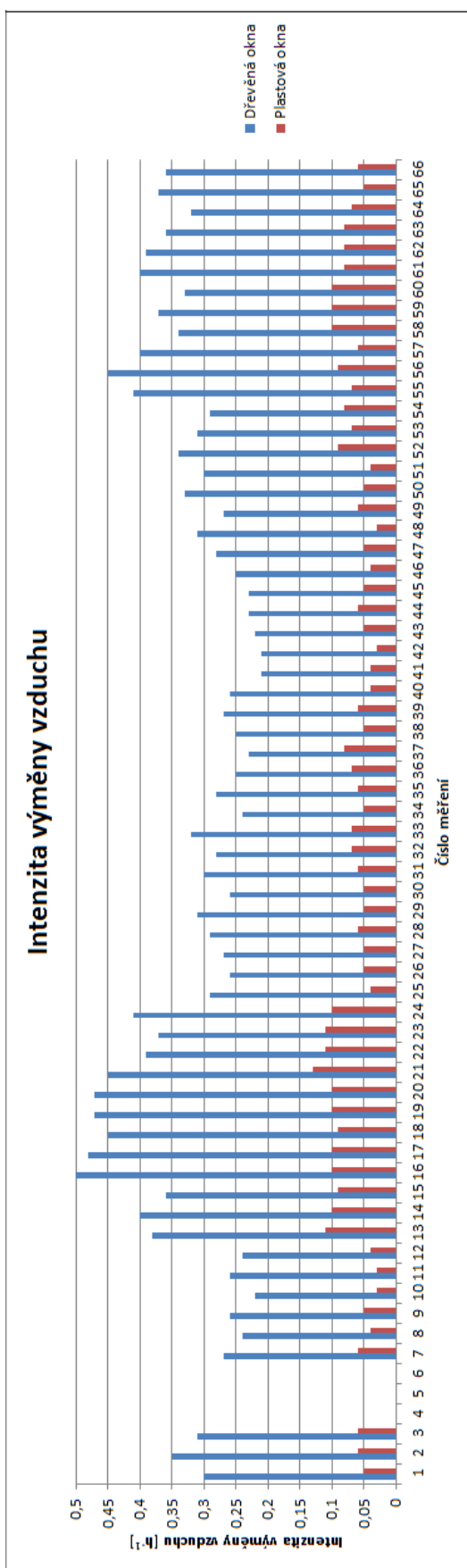
Tab. 1: Tabulka naměřené koncentrace CO₂ a intenzity větrání

Datum měření	Dvojice	Č. bytu	Č. měření	Max CO ₂ [ppm]	Průměr CO ₂ [ppm]	SD	Překročení koncentrace				Intenzita větrání [h ⁻¹]	R ²	Průměr intenzity větrání [h ⁻¹]
							1000 ppm	1500 ppm	2000 ppm	3000 ppm			
13. - 16.10. 2015	I	1	1	1610	1155	85	100	2	0	0	0,30	0,99	0,32
			2	1360	1064	132	58	0	0	0	0,35	0,95	
			3	1600	1212	93	100	4	0	0	0,31	1,00	
		2	1	3525	3017	175	100	100	100	55	0,05	0,91	0,06
			2	2910	2292	264	100	100	82	0	0,06	0,85	
			3	3580	2324	252	100	100	93	1	0,06	0,87	
	II	3	4	1370	1258	45	100	0	0	0	-	0,33	-
			5	1435	1301	46	100	0	0	0	-	0,53	-
			6	1495	1392	78	100	0	0	0	0,29	0,96	-
		4	4	3315	2603	238	100	91,5	81	38	0,04	1,00	0,04
			5	3055	2714	219	100	100	100	2	0,05	0,99	
			6	3250	2553	204	100	100	86	21	0,04	1,00	
	III	5	7	1235	1033	114	72	0	0	0	0,27	0,97	0,26
			8	1335	1257	76	100	0	0	0	0,24	0,98	
			9	2130	1575	238	100	64	4	0	0,26	0,98	
		6	7	3260	2623	387	100	100	94	21	0,06	0,94	0,05
			8	3120	2433	402	100	100	81	7	0,04	0,96	
			9	3100	2352	339	100	100	75	2	0,05	0,96	
26. - 29.10. 2015	IV	7	10	2100	1773	122	100	100	5	0	0,22	1,00	0,24
			11	1720	1216	189	69	36	0	0	0,26	1,00	
			12	2035	1671	165	100	79	0	0	0,24	1,00	
		8	10	3645	2986	387	100	100	100	51	0,03	0,95	0,03
			11	3290	2815	283	100	100	100	32	0,03	0,98	
			12	3570	3140	291	100	100	100	68	0,04	0,99	
9. - 12.1. 2016	V	9	13	1395	1084	88	92	0	0	0	0,38	0,87	0,38
			14	1295	1068	66	91	0	0	0	0,40	0,91	
			15	1385	1086	69	92	0	0	0	0,36	0,97	
		10	13	3255	2714	413	100	97	93	24	0,11	0,99	0,10
			14	2610	2052	308	100	99	60	0	0,10	0,96	
			15	3035	2515	374	100	99	82	14	0,09	0,98	
19. - 22.1. 2016	VI	11	16	1350	1163	85	100	0	0	0	0,50	0,99	0,48
			17	1330	1190	57	100	0	0	0	0,48	0,99	
			18	1340	1203	43	100	0	0	0	0,45	0,98	
		12	16	3180	2508	354	100	100	81	13	0,10	0,80	0,10
			17	3575	3034	320	100	100	100	55	0,10	0,95	
			18	3550	2772	435	100	100	94	47	0,09	0,95	
	VII	13	19	1425	1216	98	100	0	0	0	0,47	0,98	0,46
			20	1460	1155	74	100	0	0	0	0,47	0,99	
			21	1455	1127	109	100	0	0	0	0,45	0,99	
		14	19	2910	2652	212	100	100	100	0	0,10	0,97	0,11
			20	3395	3124	149	100	100	100	77	0,10	0,97	
			21	2940	2511	229	100	100	100	0	0,13	0,96	
	VIII	15	22	1760	1457	175	100	44	0	0	0,39	0,97	0,39
			23	2125	1814	265	100	84	31	0	0,37	0,99	
			24	1800	1411	138	92	42	0	0	0,41	0,94	
		16	22	3530	2737	450	100	100	91	33	0,11	0,92	0,11
			23	3425	2568	477	100	98	78	33	0,11	0,91	
			24	3130	2338	472	100	96	72	4	0,10	0,92	
22. - 25.1. 2016	IX	17	25	1810	1155	146	100	14	0	0	0,29	0,99	0,27
			26	1605	1505	42	100	60	0	0	0,26	0,99	
			27	1885	1691	101	100	89	0	0	0,27	0,99	
		18	25	2990	2743	127	100	100	100	0	0,04	0,99	0,05
			26	2970	2462	253	100	100	97	0	0,05	0,98	
			27	3570	2970	319	100	100	100	44	0,05	0,98	
	X	19	28	1435	1410	194	100	0	0	0	0,29	0,99	0,29
			29	1660	1354	163	100	65	0	0	0,31	0,95	
			30	1595	1233	145	100	36	0	0	0,26	0,98	
		20	28	3100	2302	352	100	100	48	21	0,06	0,97	0,05
			29	3050	2676	325	100	100	93	27	0,05	1,00	
25. - 28.1. 2016	XI	21	31	1250	1145	75	100	0	0	0	0,30	0,88	0,30
			32	1575	1337	117	85	25	0	0	0,28	0,96	
			33	1685	1562	119	100	78	0	0	0,32	0,91	
		22	31	2650	2055	396	100	100	59	0	0,06	0,95	0,07
			32	2715	2188	335	100	88	68	0	0,07	0,94	
			33	3060	2541	353	100	100	91	11	0,07	0,98	
	XII	23	34	2125	1640	196	100	87	11	0	0,24	0,98	0,26
			35	2035	1828	126	100	100	13	0	0,28	0,99	
			36	2180	2065	259	100	100	69	0	0,25	1,00	
		24	34	2920	2163	367	100	89	62	0	0,05	0,95	0,06
			35	3080	2551	336	100	100	92	8	0,06	0,94	
			36	3045	2642	272	100	100	100	7	0,07	0,98	

Datum měření	Dvojice	Č. bytu	Č. měření	Max CO ₂ [ppm]	Průměr CO ₂ [ppm]	SD	Překročení koncentrace				Intenzita větrání [h ⁻¹]	R ²	Průměr intenzita větrání [h ⁻¹]
							1000 ppm	1500 ppm	2000 ppm	3000 ppm			
28.1. - 31.1. 2016	XIII	25	37	1385	1167	32	100	0	0	0	0,23	0,94	0,25
			38	1265	1162	32	100	0	0	0	0,25	0,94	
			39	1430	1236	41	100	0	0	0	0,27	0,93	
		26	37	2515	2314	84	100	100	100	0	0,08	0,93	0,06
			38	2310	2147	72	100	100	100	0	0,05	0,89	
			39	2155	2005	84	100	100	62	0	0,06	0,93	
	XIV	27	40	1450	1316	38	100	0	0	0	0,26	0,97	0,23
			41	1630	1466	33	100	6	0	0	0,21	0,99	
			42	1740	1462	107	100	29	0	0	0,21	0,99	
		28	40	2675	2356	97	100	100	100	0	0,04	0,92	0,04
			41	2425	2181	108	100	100	94	0	0,04	0,94	
			42	2250	2021	124	100	100	59	0	0,03	0,86	
3. - 6.2. 2016	XV	29	43	1650	1406	121	100	21	0	0	0,22	0,92	0,23
			44	1555	1348	135	100	9	0	0	0,23	0,92	
			45	1485	1121	203	27	0	0	0	0,23	0,92	
		30	43	2545	2191	220	100	100	79	0	0,05	0,99	0,05
			44	2450	1922	304	100	80	53	0	0,06	0,97	
			45	2410	2157	171	100	100	84	0	0,05	0,98	
	XVI	31	46	1670	1427	117	100	25	0	0	0,25	0,92	0,28
			47	1615	1412	110	100	25	0	0	0,28	0,87	
			48	1645	1341	196	100	13	0	0	0,31	0,93	
		32	46	2500	2159	207	100	100	78	0	0,04	0,95	0,04
			47	2395	2045	251	100	99	60	0	0,05	0,98	
			48	2380	2062	247	100	96	68	0	0,03	0,99	
	XVII	33	49	1625	1499	65	100	42	0	0	0,27	0,88	0,30
			50	1460	1235	104	100	0	0	0	0,33	0,88	
			51	1330	994	66	100	0	0	0	0,30	0,93	
		34	49	3825	3197	381	100	100	100	74	0,06	0,99	0,05
			50	3280	2981	119	100	100	100	51	0,05	0,98	
			51	3195	2991	197	100	100	100	38	0,04	0,96	
7. - 10.2. 2016	XVIII	35	52	1515	1334	65	100	7	0	0	0,34	0,93	0,31
			53	1715	1535	77	100	59	0	0	0,31	0,93	
			54	1600	1436	87	100	27	0	0	0,29	0,93	
		36	52	2705	2186	281	100	100	77	0	0,09	0,99	0,08
			53	3085	2502	399	100	100	86	4	0,07	0,99	
			54	2200	2035	124	100	100	59	0	0,08	1,00	
	XIX	37	55	1185	912	232	58	0	0	0	0,41	0,98	0,42
			56	1150	939	206	69	0	0	0	0,45	0,96	
			57	1190	796	240	39	0	0	0	0,40	0,96	
		38	55	2420	2216	227	100	97	72	0	0,07	0,95	0,07
			56	3070	2451	310	100	100	80	5	0,09	0,97	
			57	2815	2193	295	100	95	67	0	0,06	0,96	
	XX	39	58	1340	1279	22	100	0	0	0	0,34	0,99	0,35
			59	1470	1313	173	88	0	0	0	0,37	0,99	
			60	1230	1100	143	85	0	0	0	0,33	0,98	
		40	58	2825	2455	337	100	100	96	0	0,10	0,96	0,10
			59	2975	2600	363	100	100	95	0	0,10	0,97	
			60	2750	2548	342	100	100	100	0	0,10	0,95	
17. - 20.2. 2016	XXI	41	61	1395	1234	203	86	0	0	0	0,40	0,99	0,38
			62	1420	1236	39	100	0	0	0	0,39	0,97	
			63	1497	1309	65	100	0	0	0	0,36	0,98	
		42	61	2825	1923	251	100	100	46	0	0,08	0,99	0,08
			62	3010	2063	305	100	100	60	1	0,08	0,97	
			63	2920	2058	299	100	100	100	0	0,08	0,97	
	XXII	43	64	1475	1348	38	100	0	0	0	0,32	0,97	0,35
			65	1560	1468	70	100	35	0	0	0,37	0,99	
			66	1575	1023	37	52	5	0	0	0,36	1,00	
		44	64	2600	2289	256	100	100	100	0	0,07	0,97	0,06
			65	2550	2158	238	100	100	100	0	0,05	0,99	
			66	2485	2035	199	100	100	100	0	0,06	0,96	

11.2 Příloha B

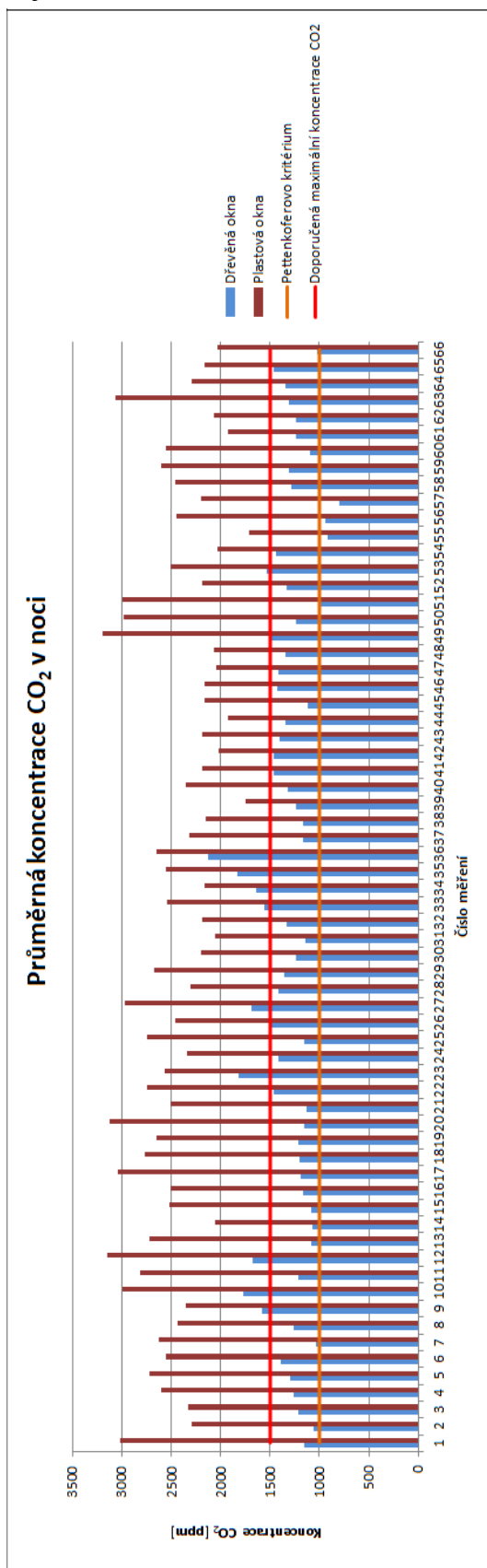
Obr. B1: Graf intenzity výměny vzduchu pro jednotlivé byty



11.3 Příloha C

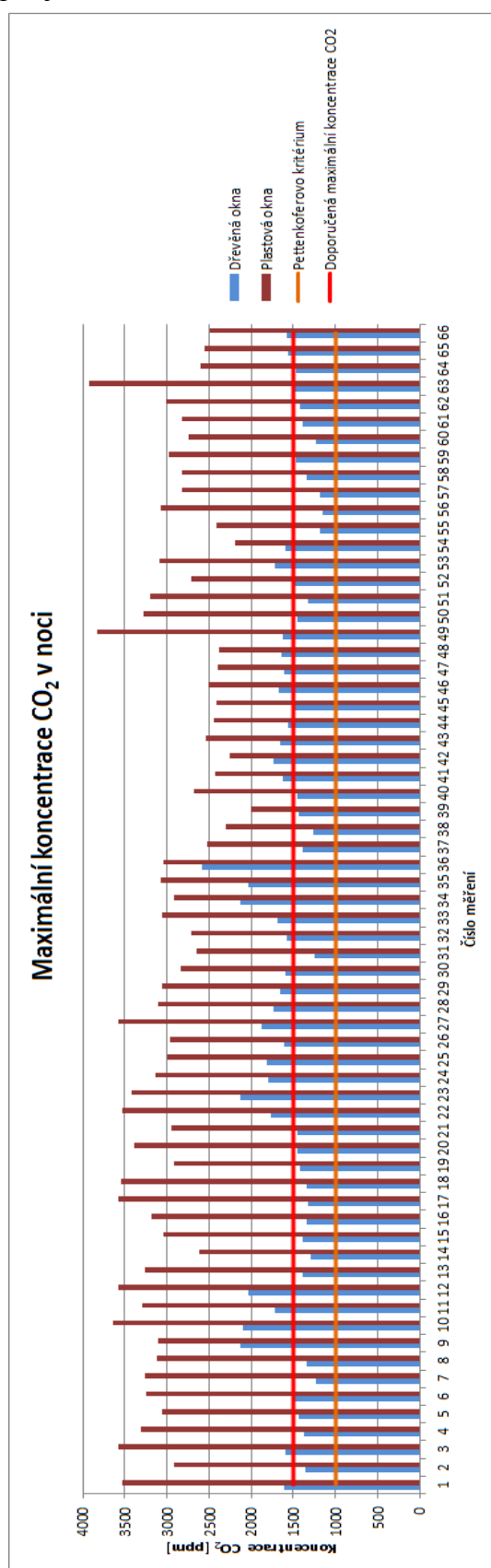
Obr. C1: Graf průměrné koncentrace CO₂

pro jednotlivé ložnice



Obr. C2: Graf maximální koncentrace CO₂

pro jednotlivé ložnice



11.4 Příloha D

Tab. 2: Tabulka naměřené relativní vlhkosti a teploty vzduchu

Datum měření	Dvojice	Č. bytu	Č. měření	Max teplota [°C]	Průměr teplota [°C]	SD	Průměr teplota [°C] *	SD	Max relativní vlhkost [%]	Průměr relativní vlhkost [%]	SD	Průměr relativní vlhkost [%] **	SD
13. - 16.10. 2015	I	1	1	17,0	16,8	0,1	16,8	0,1	53,8	51,8	0,8	52,0	0,9
			2	16,8	16,7	0,1	16,7	0,1	56,0	53,7	0,9	54,1	0,9
			3	17,4	17,2	0,1	17,2	0,1	61,7	56,1	0,6	56,6	1,1
		2	1	22,2	22,2	0,1	22,2	0,1	58,4	57,0	0,6	57,1	0,6
			2	22,3	22,0	0,2	22,0	0,2	56,7	54,9	1,5	55,2	1,4
			3	22,3	22,1	0,1	22,2	0,2	66,3	64	2,2	63,4	2,2
	II	4	4	19,3	19,2	0,1	-	0,1	34,4	33,0	0,8	-	1,0
			5	21,8	21,3	0,2	-	0,3	37,3	35,9	0,6	-	0,6
			6	20,6	20,4	0,1	20,2	0,2	44,2	42,1	1,3	41,8	1,4
		4	4	25,1	24,7	0,3	24,7	0,3	58,7	55,0	3,2	55,0	2,7
			5	24,8	24,1	0,1	24,1	0,1	52,1	51,5	0,4	51,2	0,6
			6	24,4	23,0	0,8	22,8	0,8	56,0	54,1	1,3	54,2	1,2
	II	5	7	18,6	18,4	0,0	18,5	0,1	48,4	47,3	0,7	47,4	0,6
			8	18,9	18,6	0,2	18,6	0,1	48,9	48,1	0,3	48,2	0,3
			9	19,2	18,4	0,3	18,6	0,4	56,2	55,1	0,7	54,4	1,3
		6	7	22,1	21,9	0,1	22,0	0,1	59,5	58,5	0,6	58,5	0,6
			8	21,9	21,7	0,2	21,6	0,1	58,2	57,0	0,8	56,6	1,1
			9	21,9	21,7	0,1	21,7	0,1	58,2	56,4	1,2	55,4	2,6
26. - 29.10. 2015	IV	7	10	20,9	20,6	0,1	20,7	0,1	42,9	42,3	0,3	42,4	0,3
			11	21,0	20,6	0,1	20,8	0,4	41,2	40,5	0,5	40,5	0,5
			12	20,8	20,6	0,1	21,1	1,0	42,4	41,6	0,6	41,9	0,7
		8	10	23,6	22,7	0,3	21,9	0,4	49,5	48,4	0,7	48,5	0,6
			11	23,5	22,6	0,3	22,8	0,4	48,4	47,5	0,5	47,6	0,4
			12	23,5	22,8	0,4	22,8	0,4	50,0	48,6	1,1	48,9	1,1
9. - 12.1. 2016	V	9	13	22,3	21,6	0,1	21,5	0,1	32,9	32,2	0,5	31,8	0,8
			14	22	21,4	0,1	21,3	0,2	33,4	32,5	0,6	31,9	1,1
			15	22,2	21,1	0,3	21,1	0,3	32,8	31,1	0,9	30,8	1,0
		10	13	22,1	21,7	0,2	21,8	0,2	62,8	61,2	1,3	61,1	1,1
			14	21,8	21,7	0,1	21,7	0,1	65,1	62,9	1,4	62,6	1,3
			15	22,3	22,0	0,1	22,2	0,3	69,0	67,6	1,2	67,2	1,2
19. - 22.1. 2016	VI	11	16	20,6	19,9	0,3	20,0	0,5	30,5	29,8	0,5	29,2	1,1
			17	20,6	19,8	0,1	19,8	0,1	31,5	30,6	0,4	30,2	0,9
			18	19,3	19,2	0,1	19,2	0,1	33,2	32,8	0,6	32,1	1,3
		12	16	21,6	21,0	0,2	21,2	0,3	54,1	51,7	1,7	51,8	1,7
			17	21,9	21,8	0,1	21,6	0,1	55,7	54,2	1,2	54,3	1,4
			18	21,8	21,4	0,1	21,5	0,1	56,6	55,2	1,2	55,1	1,5
	VII	13	19	15,1	14,9	0,2	14,9	0,2	42,2	41,1	0,4	40,5	1,3
			20	15,6	15,3	0,1	15,3	0,1	46,5	44,8	0,5	44,2	1,1
			21	15,3	15,0	0,2	15,1	0,2	46,5	44,7	0,4	44,4	0,8
		14	19	22,3	20,5	0,2	20,7	0,3	44,5	43,4	0,6	43,3	0,6
			20	22,0	21,8	0,1	21,8	0,1	47,3	46,6	0,6	46,3	0,7
			21	22,4	21,9	0,1	21,9	0,1	47,6	46,0	0,7	46,0	0,7
	VIII	15	22	17,7	16,7	0,1	16,7	0,1	39,6	38,9	0,5	38,8	0,5
			23	17,6	16,9	0,1	16,8	0,2	42,1	41,5	0,4	41,6	0,8
			24	17,3	16,7	0,1	16,6	0,1	40,7	39,7	0,5	39,6	0,6
		16	22	19,9	19,7	0,1	19,6	0,1	56,6	53,5	2,2	54,1	2,1
			23	20,1	19,7	0,1	19,7	0,2	57,6	55,2	1,4	55,7	1,4
			24	20,1	19,4	0,2	19,3	0,3	55,4	53,9	1,2	54,3	1,2
22. - 25.1. 2016	IX	17	25	15,5	15,2	0,2	15,2	0,2	41,4	36,5	1,8	36,4	1,7
			26	15,5	15,4	0,1	15,4	0,1	41,9	40,2	0,8	39,4	1,5
			27	15,7	15,2	0,1	15,1	0,2	40,7	37,9	1,1	37,5	1,4
		18	25	22,7	22,2	0,0	22,2	0,1	67,8	66,7	0,8	66,6	0,7
			26	22,0	21,9	0,1	21,9	0,1	60,9	59,4	1,2	59,5	1,2
			27	22,0	21,9	0,1	21,9	0,1	63,2	62,0	1,1	62,2	1,0
	X	19	28	16,4	14,9	0,2	14,9	0,2	52,2	49,3	1,7	49,4	1,5
			29	17,1	15,3	0,3	15,3	0,3	54,6	50,5	1,6	50,9	1,4
			30	16,1	14,7	0,3	14,6	0,3	52,2	50,7	1,3	50,3	1,3
		20	28	22,1	21,5	0,2	21,9	0,2	60,7	56,35	2,1	59,3	1,9
			29	21,9	21,7	0,1	21,6	0,1	66,4	64,8	2,0	64,6	1,9
			30	21,5	21,3	0,3	20,8	0,3	62,7	61,0	2,2	62,6	2,5
25. - 28.1. 2016	XI	21	31	16,0	16,1	0,1	15,9	0,1	35,0	33,2	0,6	34,2	0,7
			32	16,3	16,1	0,1	16,0	0,1	33,4	30,1	0,7	30,3	0,9
			33	16,6	16,2	0,2	16,3	0,2	36,9	35,6	0,6	35,5	1,0
		22	31	21,7	21,3	0,3	21,3	0,2	59,4	56,1	2,7	56,6	2,8
			32	23	22,3	0,3	22,5	0,4	59,4	57,9	1,3	58,2	1,3
			33	22,7	22,5	0,1	22,5	0,2	60,1	56,7	3,1	57,6	2,9
	XII	23	34	20,9	20,5	0,1	20,4	0,2	35,7	31,4	1,9	33,8	2,8
			35	20,8	20,4	0,1	20,2	0,2	45,5	43,2	1,0	42,7	1,5
			36	21,0	20,9	0,0	20,8	0,1	47,5	45,9	0,8	45,0	1,7
		24	34	21,5	21,4	0,1	21,3	0,2	60,5	57,8	1,9	58,2	1,8
			35	20,8	20,5	0,1	20,4	0,1	60,4	57,3	1,8	57,6	1,6
			36	20,6	20,2	0,1	20,1	0,2	59,6	55,4	2,6	56,0	2,4

Datum měření	Dvojice	Č. bytu	Č. měření	Max teplota [°C]	Průměr teplota [°C]	SD	Průměr teplota [°C] *	SD	Max relativní vlhkost [%]	Průměr relativní vlhkost [%]	SD	Průměr relativní vlhkost [%] **	SD
26. - 29.1. 2016	XIII	25	37	17,7	17,4	0,2	17,3	0,2	52,1	51,4	0,8	51,7	0,8
			38	18,8	18,6	0,1	18,4	0,1	55,1	53,6	0,5	53,6	0,7
			39	18,5	18,2	0,1	19	0,1	54,2	53,2	0,6	53,2	0,8
		26	37	23,1	22,8	0,1	22,7	0,1	55,2	54,1	0,3	53,9	0,4
			38	23,3	23	0,1	23,0	0,1	55,4	53,7	0,5	53,1	0,5
			39	23	23,1	0,1	23,1	0,1	54,9	53,7	0,6	53,5	0,7
	XIV	27	40	19,2	19,0	0,1	19,0	0,1	49,8	49,1	0,4	49,2	0,4
			41	18,8	18,4	0,1	18,3	0,1	53,8	52,9	0,4	52,0	0,4
			42	18,3	18,0	0,2	18,0	0,2	52,3	51,5	0,5	51,1	0,6
		28	40	22,6	22,4	0,1	22,4	0,1	55,6	53,9	0,5	53,6	0,6
			41	23,1	23,0	0,2	23,0	0,1	51,8	50,6	0,4	50,8	0,5
			42	23,1	22,8	0,0	22,7	0,1	58,0	55,5	0,2	55,8	0,4
3.- 6.2. 2016	XV	29	43	20,4	20,0	0,1	20,0	0,3	38,5	37,4	0,6	37,3	0,5
			44	19,9	19,8	0,0	19,8	0,1	37,5	36,3	0,9	36,2	0,8
			45	20,5	20,1	0,1	20,0	0,2	36,0	34,6	1,1	34,6	0,9
		30	43	23,7	23,5	0,1	23,5	0,1	50,0	48,5	1,0	47,8	1,6
			44	23,5	23,3	0,2	23,2	0,2	48,7	46,1	1,6	45,9	1,4
			45	23,7	23,3	0,2	23,3	0,2	47,9	46,9	0,4	46,3	1,1
	XVI	31	46	20,3	20,2	0,0	20,1	0,1	37,5	36,4	0,4	36,3	0,5
			47	20,5	20,3	0,1	20,3	0,1	37,1	36,7	0,1	36,4	0,4
			48	20,9	20,9	0,1	20,8	0,1	37,4	36,0	0,7	36,0	0,7
		32	46	23,5	23,2	0,1	23,2	0,1	43,9	42,1	1,1	41,66	1,3
			47	23,5	23,2	0,1	23,2	0,1	46,0	44,1	0,4	43,4	1,4
			48	23,7	23,4	0,1	23,4	0,2	44,8	43,8	0,7	43,2	1,2
	XVII	33	49	20,8	20,8	0,2	20,4	0,2	40,8	40,5	0,2	39,9	1,1
			50	21,0	20,9	0,1	20,8	0,1	41,0	39,9	0,6	39,4	1,1
			51	21,6	21,4	0,1	21,5	0,1	38,9	37,5	0,5	37,1	1,0
		34	49	21,8	21,6	0,1	21,7	0,1	64,5	62	1,5	62,1	1,3
			50	21,8	21,5	0,1	21,9	0,4	71,3	69,5	1,0	68,8	0,9
			51	22,2	21,9	0,1	22,4	0,6	70,5	66,9	0,9	68,1	1,3
7.- 10.2. 2016	XVIII	35	52	22,2	22,0	0,1	22,0	0,2	40,8	39,5	0,5	39,0	0,9
			53	22,1	21,8	0,2	22,0	0,7	40,5	39,5	0,2	38,9	0,9
			54	21,9	21,7	0,1	22,1	0,8	40,1	39,7	0,2	39,3	0,8
		36	52	22,6	22,3	0,2	22,6	0,3	67,2	64,3	0,9	64,5	1,7
			53	22,2	22,1	0,2	22	0,2	59,0	56,4	0,9	58,1	1,7
			54	22	21,6	0,1	21,8	0,1	51,7	55,0	1,3	58,0	1,1
	XIX	37	55	22,6	22,3	0,2	22,4	0,2	37,1	36,2	0,3	35,9	0,7
			56	22,2	22,1	0,1	22,1	0,1	32,9	31,4	0,9	31,3	0,9
			57	22,4	22,0	0,2	22,1	0,2	31,5	30,4	1,6	30,3	0,5
		38	55	22,3	21,9	0,2	22,0	0,2	59,6	54,8	3,0	53,6	3,1
			56	23,7	23,1	0,4	22,9	0,1	58,9	54,5	3,1	55,2	2,8
			57	22,9	22,6	0,3	22,5	0,3	64,4	62,6	1,1	60,7	1,6
	XX	39	58	19,5	19,0	0,3	19,4	1,2	35,2	34,9	0,3	34,4	0,8
			59	19,6	19,2	0,2	19,1	0,3	37,3	35,7	0,9	35,5	1,0
			60	20,0	19,3	0,1	19,8	0,9	34,8	34,2	0,7	33,9	0,8
		40	58	20,4	20,2	0,1	20,2	1,1	53,4	49,5	3,0	49,9	3,8
			59	21,4	20,9	0,3	20,8	0,2	55,2	51,6	2,6	52,2	2,3
			60	21,1	20,7	0,2	20,7	0,3	56,2	52,9	2,3	53,2	2,0
17.- 20.2. 2016	XXI	41	61	21,0	20,5	0,3	20,3	0,3	37,1	35,4	1,4	35,1	1,4
			62	21,0	20,8	0,3	20,7	0,4	33,5	32,7	0,3	32,4	0,7
			63	21,0	21	0,2	21,1	0,2	33,5	32,7	0,5	32,2	0,8
		42	61	23,1	22,8	0,3	22,7	0,3	45,3	43,8	0,9	43,7	0,8
			62	22,7	22,2	0,3	22,2	0,3	45,3	42,3	0,8	42,5	0,9
			63	22,6	22,0	0,2	22,1	0,2	43,2	41,7	0,4	43,6	2,4
	XXII	43	64	21,6	21,3	0,3	21,2	0,3	33,7	32,5	0,5	32,0	0,9
			65	21,8	21,5	0,3	21,6	0,4	34,2	33,1	0,6	32,9	0,7
			66	22,1	21,9	0,2	21,8	0,2	35,3	32,5	1,1	32,8	1,1
		44	64	22,7	22,3	0,2	22,3	0,1	48,3	45,5	1,1	44,6	1,2
			65	22,6	22,2	0,2	22,3	0,2	49,5	46,7	1,0	46,5	1,1
			66	22,9	22,6	0,2	22,7	0,2	48,6	46,3	1,3	46,4	1,1

*Průměrná teplota za dobu spánku 7 hodin a za dobu monitorování poklesu CO₂, tedy celkem za 10 hodin, ** Průměrná relativní vlhkost za dobu spánku 7 hodin a za dobu monitorování poklesu CO₂, tedy celkem za 10 hodin

Tab. 3: Venkovní teplota a relativní vlhkost a počasí vzduchu v Sezimově Ústí během měření

Datum	Venkovní teplota [°C]	Venkovní relativní vlhkost [%]	Počasí
13.10.2015	3,8	78	zataženo, slabý vítr
14.10.2015	5,6	83	zataženo, mírný vítr
15.10.2015	9,1	85	zataženo, mírný vítr
16.10.2015	7,5	76	zataženo, mírný vítr
26.10.2015	10	73	oblačno, mírný vítr
27.10.2015	7,6	79	zataženo, mírný vítr
28.10.2015	8	82	oblačno, mírný vítr
29.10.2015	8	81	oblačno, slabý vítr
9.1.2016	2,8	76	oblačno, mírný vítr
10.1.2016	5,1	78	oblačno, slabý vítr
11.1.2016	3,6	84	zataženo, slabý vítr
12.1.2016	4,2	79	oblačno, mírný vítr
19.1.2016	-5,4	85	skorojasno, slabý vítr
20.1.2016	-4,5	78	oblačno, mírný vítr
21.1.2016	-3,1	81	oblačno, mírný vítr
22.1.2016	-5,8	76	jasno, slabý vítr
23.1.2016	1,8	79	oblačno, mírný vítr
24.1.2016	4,5	77	oblačno, mírný vítr
25.1.2016	5,6	82	oblačno, mírný vítr
26.1.2016	7,8	84	oblačno, mírný vítr
27.1.2016	11,4	76	oblačno, mírný vítr
28.1.2016	11,3	85	oblačno, mírný vítr
29.1.2016	8,7	83	jasno, mírný vítr
30.1.2016	11,1	65	polojasno, mírný vítr
31.1.2016	4,2	78	polojasno, mírný vítr
3.2.2016	6,2	75	zataženo, mírný vítr
4.2.2016	3,3	83	oblačno, mírný vítr
5.2.2016	5,5	77	oblačno, mírný vítr
6.2.2016	10,8	82	polojasno, mírný vítr
7.2.2016	7,6	74	polojasno, mírný vítr
8.2.2016	10,6	85	oblačno, mírný vítr
9.2.2016	9,7	77	oblačno, mírný vítr
10.2.2016	6	82	oblačno, mírný vítr
17.2.2016	2,9	87	zataženo, mírný vítr
18.2.2016	4	84	polojasno, slabý vítr
19.2.2016	4,2	81	zataženo, mírný vítr
20.2.2016	3,3	79	polojasno, mírný vítr

11.5 Příloha E

Tab. 4: Naměřené koncentrace CO₂ a intenzity větrání při režimu mikroventilace a zavřených oknech

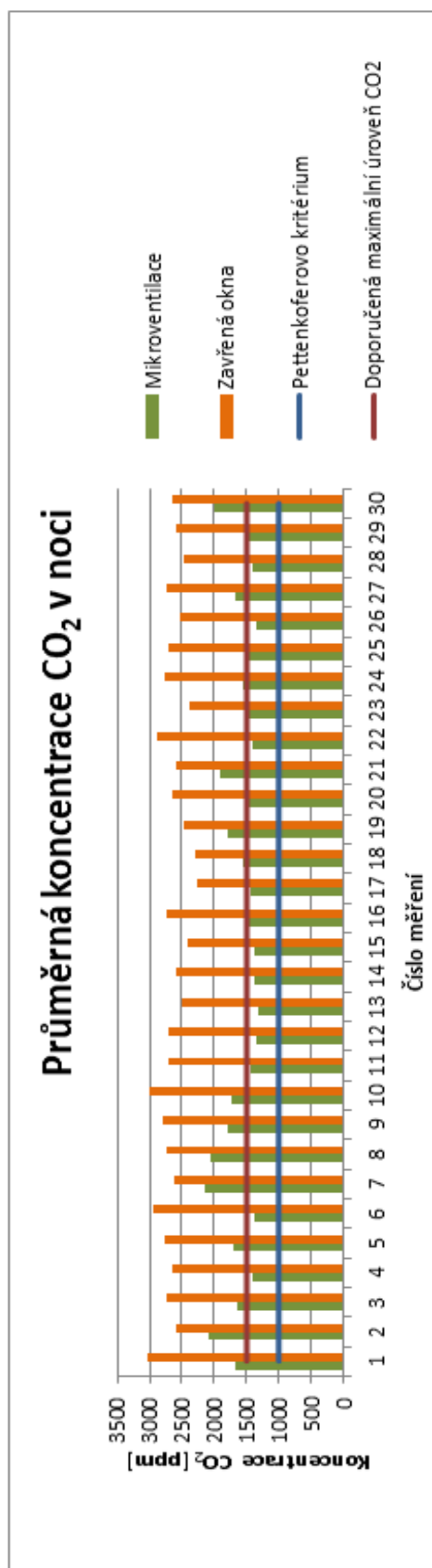
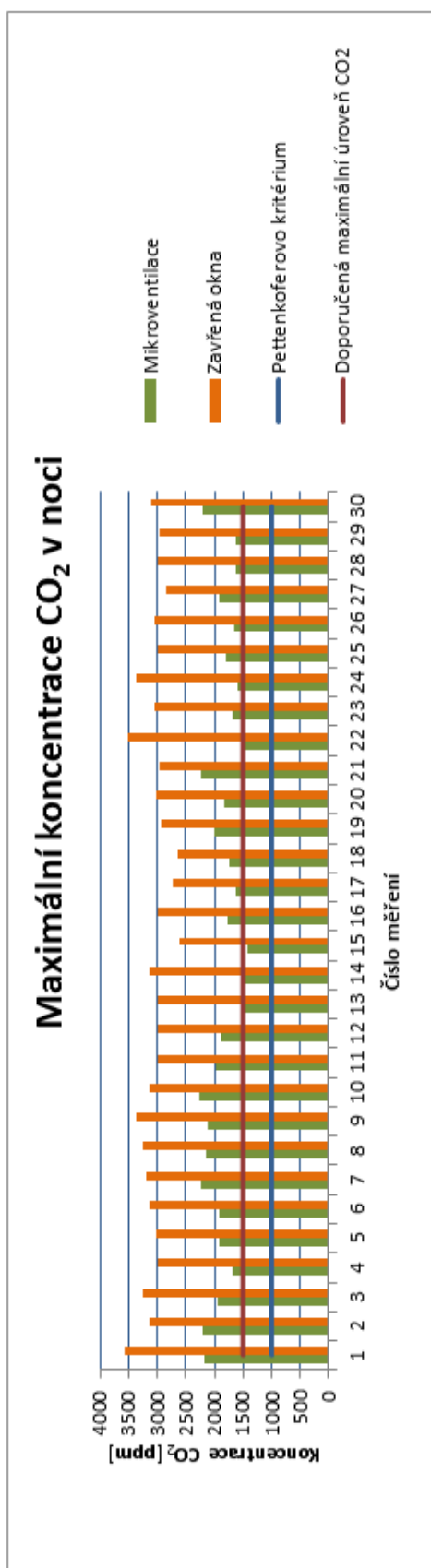
Datum měření	Byt	Režim větrání	Č. měření	Max CO ₂ [ppm]	Průměr CO ₂ [ppm]	SD	Překročení koncentrace				Intenzita větrání [h ⁻¹]	R ²	Průměr intenzity větrání [h ⁻¹]
							1000 ppm	1500 ppm	2000 ppm	3000 ppm			
27. - 30.3. 2016	I	M	1	2185	1685	282	100	100	11	0	0,31	0,977	0,33
			2	2195	2097	54	100	100	100	0	0,36	0,929	
			3	1950	1634	231	100	100	0	0	0,33	0,982	
		Z	1	3565	3022	312	100	100	91	33	0,04	0,926	0,05
			2	3135	2584	298	100	100	53	5	0,05	0,957	
			3	3250	2736	305	100	100	87	22	0,05	0,948	
	II	M	4	1685	1417	230	100	100	0	0	0,31	0,934	0,31
			5	1915	1695	117	100	100	0	0	0,33	0,929	
			6	1920	1360	108	100	100	0	0	0,30	0,908	
		Z	4	2995	2658	198	100	100	100	0	0,05	0,999	0,06
			5	3005	2762	302	100	100	100	2	0,07	0,985	
			6	3125	2934	236	100	100	83	7	0,06	0,987	
	III	M	7	2235	2154	205	100	100	100	0	0,31	0,995	0,30
			8	2140	2061	191	100	100	100	0	0,30	0,995	
			9	2120	1785	216	100	100	19	0	0,28	0,990	
		Z	7	3190	2626	354	100	100	79	15	0,06	0,956	0,06
			8	3255	2748	312	100	100	93	24	0,05	0,979	
			9	3370	2795	341	100	100	81	39	0,06	0,698	
30.3. -2.4. 2016	IV	M	10	2250	1727	154	100	100	56	0	0,19	0,995	0,23
			11	1985	1438	120	100	100	0	0	0,23	0,995	
			12	1885	1347	152	100	100	0	0	0,28	0,990	
		Z	10	3130	2995	302	100	100	100	34	0,04	0,987	0,05
			11	2985	2694	229	100	100	95	0	0,05	0,995	
			12	2990	2703	235	100	100	97	0	0,07	0,962	
	V	M	13	1485	1329	145	100	0	0	0	0,27	0,922	0,29
			14	1520	1370	97	100	2	0	0	0,32	0,961	
			15	1420	1380	132	100	0	0	0	0,29	0,958	
		Z	13	2985	2512	297	100	100	100	0	0,03	0,943	0,03
			14	3140	2585	353	100	100	94	15	0,04	0,954	
			15	2620	2398	254	100	100	51	0	0,03	0,987	
	VI	M	16	1775	1466	138	100	42	0	0	0,33	0,965	0,31
			17	1630	1437	107	100	24	0	0	0,28	0,983	
			18	1750	1546	85	100	36	0	0	0,31	0,973	
		Z	16	2985	2733	139	100	100	81	0	0,04	0,979	0,04
			17	2725	2262	215	100	100	73	0	0,04	0,956	
			18	2650	2294	177	100	100	67	0	0,04	0,989	
4. - 7.4. 2016	VII	M	19	2000	1798	187	100	88	0	0	0,24	0,986	0,22
			20	1825	1450	125	100	39	0	0	0,20	0,935	
			21	2230	1909	249	100	88	59	0	0,21	0,975	
		Z	19	2940	2458	237	100	100	95	0	0,06	0,996	0,06
			20	3025	2638	256	100	100	97	5	0,06	0,985	
			21	2965	2587	211	100	100	100	0	0,05	0,982	
	VIII	M	22	1545	1403	101	100	24	0	0	0,24	0,897	0,26
			23	1685	1528	116	100	60	0	0	0,27	0,958	
			24	1605	1546	28	100	100	0	0	0,26	0,943	
		Z	22	3520	2871	340	100	100	96	47	0,04	0,964	0,04
			23	3050	2390	358	100	96	75	5	0,05	0,994	
			24	3365	2759	336	100	100	83	3	0,04	0,952	
12. - 15.4. 2016	IX	M	25	1810	1471	73	100	47	0	0	0,35	0,966	0,36
			26	1645	1338	82	100	33	0	0	0,38	0,984	
			27	1900	1682	101	100	52	0	0	0,36	0,998	
		Z	25	2995	2694	296	100	100	100	0	0,05	0,964	0,05
			26	3035	2534	331	100	100	100	9	0,06	0,975	
			27	2855	2728	258	100	100	100	0	0,05	0,985	
	X	M	28	1630	1413	80	100	100	85	0	0,25	0,978	0,23
			29	1635	1512	51	100	100	92	0	0,23	0,979	
			30	2205	1992	112	100	100	100	0	0,21	0,962	
		Z	28	2975	2480	243	100	87	72	0	0,03	0,925	0,04
			29	2965	2598	261	100	100	92	0	0,05	0,985	
			30	3105	2634	306	100	100	100	11	0,03	0,993	

Obr. E1: Graf maximální koncentrace CO₂

Obr. E2: Graf průměrné koncentrace CO₂

při režimu mikroventilace a zavřených oknech

při režimu mikroventilace a zavřených oknech



11.6 Příloha F

Tab. 5: Naměřená teplota a relativní vlhkost vzduchu při režimu mikroventilace a zavřených oknech

Datum měření	Byt	Č. měření	Max teplota [°C]	Průměr teplota [°C]	SD	Průměr teplota [°C] *	SD	Max relativní vlhkost [%]	Průměr relativní vlhkost [%]	SD	Průměr relativní vlhkost [%] **	SD
27. - 30.3. 2016	I	1	21,8	21,3	0,2	21,1	0,2	57,6	55,3	0,9	54,5	0,7
		2	21,7	21,5	0,1	21,3	0,1	59,5	58,1	1,2	56,9	1,5
		3	20,9	20,7	0,2	21,0	0,2	56,7	52,8	0,5	52,2	0,7
		1	21,6	21,2	0,2	21,1	0,2	64,5	63,9	1,6	63,6	1,7
		2	21,9	21,1	0,1	21,2	0,1	61,3	60,5	1,3	60,2	1,2
		3	21,3	21,0	0,1	20,7	0,1	62,7	61,2	1,6	60,9	1,6
	II	4	21,1	20,8	0,3	20,6	0,3	62,3	58,1	0,7	57,5	0,6
		5	21,5	21,3	0,2	21,1	0,2	59,8	56,7	0,5	55,3	1,1
		6	20,8	20,4	0,1	20,2	0,2	57,9	51,4	0,1	50,6	0,2
		4	21,7	21,3	0,2	21,4	0,3	67,4	64,4	2,1	64,2	1,7
		5	22,3	21,8	0,1	21,8	0,1	69,8	66,8	1,3	66,9	0,9
		6	21,6	21,2	0,1	21,1	0,1	70,5	69,6	1,5	69,3	1,5
	III	7	22,1	21,2	0,1	21,2	0,1	61,0	56,3	0,3	55,7	0,5
		8	22,4	21,3	0,1	21,0	0,1	58,4	53,5	0,7	53,9	1,1
		9	22,0	21,2	0,1	21,4	0,2	52,1	50,8	1,2	50,5	1,4
		7	22,4	21,8	0,5	22,1	0,6	59,3	57,8	0,7	57,2	0,9
		8	23,1	22,9	0,4	23,0	0,4	60,8	59,6	1,1	59,0	1,4
		9	22,9	22,9	0,2	22,7	0,3	58,8	56,7	0,5	56,5	0,5
30.3. - 2.4. 2016	IV	10	22,8	22,2	0,1	22,3	0,2	52,4	50,1	0,6	49,5	0,8
		11	23,1	22,3	0,1	22,0	0,1	54,0	49,0	0,3	47,2	0,4
		12	22,3	21,3	0,2	20,9	0,3	48,4	45,6	0,5	45,2	0,5
		10	22,5	22,3	0,1	22,2	0,1	55,6	53,7	0,6	54,1	0,8
		11	23,2	22,7	0,2	22,7	0,2	59,2	57,4	1,3	57,3	1,1
		12	22,9	22,1	0,2	22,3	0,2	57,3	55,9	0,5	56,2	0,4
	V	13	20,4	20,2	0,1	19,9	0,2	53,4	52,6	0,5	52,2	0,7
		14	19,8	19,5	0,1	19,3	0,1	53,8	50,8	1,6	49,3	1,3
		15	20,2	19,8	0,2	19,4	0,3	53,7	52,5	1,1	52,7	1,0
		13	21,2	21,0	0,1	20,9	0,2	57,4	55,6	0,4	55,9	0,6
		14	21,6	21,5	0,3	21,5	0,2	57,4	54,7	1,4	54,5	1,6
		15	21,4	21,1	0,1	21,0	0,1	55,1	53,6	1,1	53,1	1,3
	VI	16	21,9	21,5	0,2	21,6	0,3	52,2	49,0	1,3	48,3	1,6
		17	21,5	21,4	0,4	21,2	0,2	55,3	51,3	0,7	50,9	0,7
		18	22,1	21,6	0,5	21,3	0,4	54,8	51,6	0,4	50,7	0,6
		16	22,5	22,1	0,1	22,1	0,1	58,6	56,4	1,6	56,2	1,8
		17	22,8	22,3	0,2	22,3	0,2	61,7	58,7	2,3	58,8	2,3
		18	22,9	22,6	0,0	22,3	0,1	59,3	57,9	2,1	57,8	2,2
4. - 7.4. 2016	VII	19	20,0	19,9	0,1	19,1	0,1	52,2	49,9	1,1	49,6	1,1
		20	20,2	18,8	0,5	18,3	0,7	49,8	46,6	0,3	46,0	0,6
		21	19,5	19,4	0,2	18,7	0,2	58,4	55,4	0,5	54,8	0,9
		19	21,1	20,8	0,1	20,7	0,1	55,4	53,1	1,3	53,6	1,4
		20	21,5	21,3	0,2	21,2	0,2	53,2	51,6	1,0	51,6	1,1
	VIII	21	21,0	20,8	0,1	20,9	0,1	62,1	61,3	1,8	61,2	1,9
		22	20,4	18,8	0,1	18,6	0,2	53,3	52,8	0,4	51,3	0,8
		23	20,9	19,5	0,2	19,4	0,2	54,7	52,4	0,7	50,9	1,4
		24	20,5	19,2	0,1	18,8	0,1	56,1	53,5	1,1	52,4	2,1
		22	21,8	21,6	0,1	21,9	0,2	56,7	55,0	1,8	54,7	1,6
12. - 15.4. 2016	IX	23	21,3	21,1	0,1	21,2	0,2	57,2	56,1	2,1	56,4	2,2
		24	22,1	21,8	0,2	21,8	0,2	57,4	55,8	0,8	55,3	1,0
	X	25	22,3	22,1	0,1	20,9	0,2	56,8	56,5	0,8	55,8	1,1
		26	21,9	21,6	0,2	21,2	0,2	54,9	54,6	1,1	53,9	1,0
		27	22,6	22,3	0,1	22,4	0,1	57,3	57,2	0,6	56,6	0,8
		25	23,6	23,3	0,2	23,4	0,2	61,7	61,5	2,3	61,3	2,3
		26	22,8	22,6	0,0	22,5	0,1	61,6	61,3	1,6	61,4	1,5
		27	23,5	23,2	0,1	23,1	0,1	63,3	62,8	1,2	61,9	0,9
		28	20,2	20,0	0,1	19,8	0,1	60,6	57,0	0,6	56,2	0,8
		29	20,3	20,2	0,1	20,3	0,1	61,5	59,6	0,7	58,7	0,7
		30	20,6	20,6	0,0	20,1	0,1	61,3	58,6	0,6	57,2	0,5
		28	22,1	21,8	0,1	21,9	0,1	67,9	66,9	0,7	66,5	0,9
		29	21,6	21,2	0,1	21,1	0,1	68,3	67,8	2,4	67,7	2,2
		30	21,7	21,4	0,2	21,4	0,1	66,8	66,4	1,3	66,5	1,4

*Průměrná teplota za dobu spánku 7 hodin a za dobu monitorování poklesu CO₂, tedy celkem za 10 hodin, ** Průměrná relativní vlhkost za dobu spánku 7 hodin a za dobu monitorování poklesu CO₂, tedy celkem za 10 hodin

Tab. 6: Venkovní teplota a relativní vlhkost a počasí vzduchu na Praze 13 během měření režimu mikroventilace

Datum	Venkovní teplota [°C]	Venkovní relativní vlhkost [%]	Počasí
27.3.2016	11,3	65	jasno, slabý vítr
28.3.2016	13,2	81	oblačno, mírný vítr
29.3.2016	10,2	73	oblačno, mírný vítr
30.3.2016	12,1	80	oblačno, mírný vítr
31.3.2016	13,5	73	polojasno, slabý vítr
1.4.2016	4,10	75	oblačno, mírný vítr
2.4.2016	12,8	69	jasno, mírný vítr
3.4.2016	14,4	76	jasno, mírný vítr
4.4.2016	16,3	82	polojasno, slabý vítr
5.4.2016	15,2	78	jasno, slabý vítr
6.4.2016	12,1	66	oblačno, mírný vítr
7.4.2016	11,3	83	oblačno, mírný vítr
12.4.2016	15,4	69	oblačno, slabý vítr
13.4.2016	14,8	76	oblačno, slabý vítr
14.4.2016	9,10	84	zataženo, mírný vítr
15.4.2016	10,3	79	oblačno, mírný vítr

11.7 Příloha G

Dotazník:

Vážená/ý respondentko/e,

jsem studentkou druhého ročníku magisterského studia na Přírodovědecké fakultě, kde studuji obor Ochrana životního prostředí. Ráda bych Vás tímto požádala o vyplnění následujícího krátkého dotazníku na téma: Kvalita vnitřního ovzduší v závislosti na zateplování bytů. Nyní pracuji na své diplomové práci, která se zabývá koncentrací oxidu uhličitého (CO₂), výskytem plísní a vlhkostí uvnitř (ve vnitřním prostředí) bytů v závislosti na typu oken (nová plastová versus stará dřevěná okna) a celkovém zateplení fasády objektu. Tento dotazník slouží k vyhodnocení, zda po výměně oken dochází k většímu výskytu plísní, zvýšené vlhkosti a především zvýšené koncentraci CO₂ uvnitř bytů. Jedná se o zcela anonymní dotazník, kdy budou statisticky zpracovány pouze odpovědi bez jakýchkoliv jiných údajů o poloze či vlastníkovi/nájemci bytu. Zvolenou odpověď označte, prosím, křížkem.

1) Je Váš byt v budově se zateplenou fasádou?

☐ ANO

- NE
- 2) Jak dlouho je fasáda zateplena? Vepište číslíci počet roků.
- 3) Má Váš byt nová plastová okna?
- ANO
○ NE
- 4) Jak dlouho má Váš byt instalovaná plastová okna? Vepište číslíci počet roků.
- 5) Pokud jste bydleli v bytě před výměnou starých dřevěných oken za nová plastová okna, cítíte zvýšení vlhkosti uvnitř Vašeho bytu po této výměně oken?
- ANO
○ NE
- 6) Cítíte zhoršení vnitřního ovzduší (více vydýchaný vzduch) po výměně starých dřevěných oken za nová plastová okna?
- ANO
○ NE
- 7) Musíte častěji větrat než před výměnou oken?
- ANO
○ NE
- 8) Vyskytly se ve Vašem bytě plísňe po výměně oken nebo před ní?
- PŘED
○ PO
○ ANI PŘED ANI PO
○ PŘED I PO
- 9) Pokud jste bydleli v budově bez zateplené fasády, cítíte zvýšení vlhkosti uvnitř Vašeho bytu po zateplení fasády?
- ANO
○ NE
- 10) Pokud jste bydleli v budově bez zateplené fasády, cítíte zhoršení vnitřního ovzduší (více vydýchaný vzduch) uvnitř Vašeho bytu po zateplení fasády?
- ANO
○ NE
- 11) Vyskytly se ve Vašem bytě plísňe po zateplení fasády budovy nebo před ní?
- PŘED
○ PO
○ ANI PŘED ANI PO
○ PŘED I PO
- 12) Využíváte režimu tzv. mikroventilace?
- ANO
○ NE
○ NEVÍM O NĚM

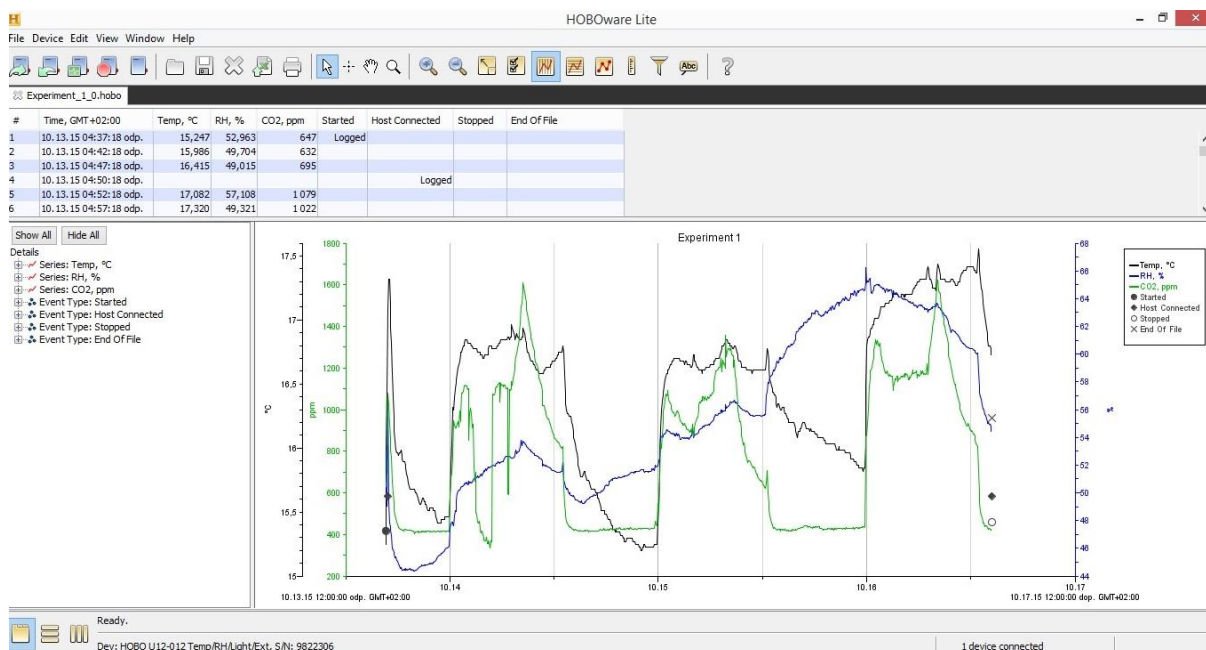
Vyplněný dotazník vhodíte, prosím, do poštovní schránky se jménem:
_____nejpozději do _____.

Děkuji Vám za pomoc s vyplňováním dotazníku ke statistickému zpracování v rámci mé diplomové práce.

Bc. Eliška Čejková

V případě jakýchkoliv dotazů mě neváhejte kontaktovat na E-mail: ecejkova@volny.cz , či telefonu: 739 997 812.

11.8 Příloha H

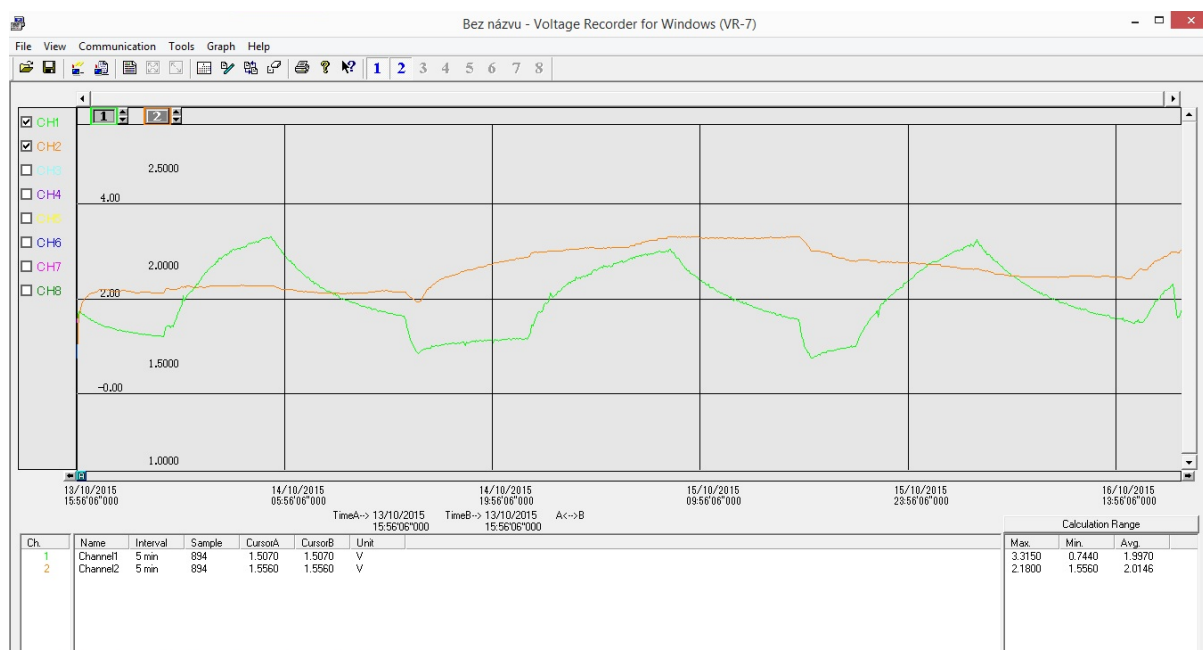


Obr. H1: Ukázka výstupu měření teploty, relativní vlhkosti a koncentrace CO₂ z dataloggeru HOBO U-12

Tab. 7: Ukázka výstupu z dataloggeru HOBO U- 12

Plot Title: Experiment 1						
#	"Date Time GMT+02:00"	"Temp °C"	"RH %"	"CO2 ppm"	"Started"	
1	10.13.15 05:07:18 odp.	17.130	47.576	863	Logged	
2	10.13.15 05:12:18 odp.	16.939	47.300	805		
3	10.13.15 05:17:18 odp.	16.820	46.909	772		
4	10.13.15 05:22:18 odp.	16.582	45.967	652		
5	10.13.15 05:27:18 odp.	16.392	45.880	597		
6	10.13.15 05:32:18 odp.	16.249	45.705	551		
7	10.13.15 05:37:18 odp.	16.129	45.596	518		
8	10.13.15 05:42:18 odp.	16.058	45.336	491		
9	10.13.15 05:47:18 odp.	15.986	45.358	476		
10	10.13.15 05:52:18 odp.	15.963	45.135	460		

11.9 Příloha CH



Obr. CH1: Ukázka výstupu měření teploty, relativní vlhkosti a koncentrace CO₂ z Voltage Recorder VR - 71

Tab. 8: Ukázka výstupu z Voltage Recorder VR - 71

< Voltage Recorder Data Text OutPut >			
Date/Time	Passed Time	Ch.1 - t [°C]	Ch.2 - CO ₂ [ppm]
		V	V
13/10/2015 15:56'06	Oday 00:00'00	15,1	1556
13/10/2015 16:01'06	Oday 00:05'00	16,6	1697
13/10/2015 16:06'06	Oday 00:10'00	17,3	1776
13/10/2015 16:11'06	Oday 00:15'00	17,3	1808
13/10/2015 16:16'06	Oday 00:20'00	16,9	1827
13/10/2015 16:21'06	Oday 00:25'00	16,7	1846
13/10/2015 16:26'06	Oday 00:30'00	16,7	1855
13/10/2015 16:31'06	Oday 00:35'00	16,4	1864
13/10/2015 16:36'06	Oday 00:40'00	16,2	1872
13/10/2015 16:41'06	Oday 00:45'00	15,9	1874